

수중 비분리 콘크리트의 특성에 대한 기초적 연구

Fundamental Study on the Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete

김 명 식*
Kim, Myung Sik

Summary

In this study, the characteristics of antiwashout underwater concrete according to the using types of admixture were experimentally investigated. Especially, the comparison on the performance of seven types(CO-A, B, C, D, E, F, G) of the manufactured admixtures was carried out in the same mixing condition and proportions.

Based on the results of experiments, the conclusions were summarized as follows :

(1) The slump flow on most of specimens except by CO-F type were progressed very well. (2) In most of products, the measured values of suspensions, pH's and air contents were lower than their reference values. However, CO-B, CO-F and CO-G types exceeded the reference ones in suspension and pH. (3) The time lags between initial and final setting were about three hours in most of tests, however, the maximum difference of total setting time was ten hours in comparing with the admixture types. The unit weights were mostly lower than $2300\text{kg}/\text{m}^3$ and the compressive strengths cured by salt water were about 80% of the ones by fresh water. (4) Finally, in spite of some problems, most of the manufactured admixtures may be performed well their functions in antiwashout underwater concrete if the using quantities are properly controlled by the site experiments.

I. 서 론

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸인 반도인 관계로, 경제가 발전할수록 해양토목이나 항

만토목, 교량토목 등의 수중공사가 증가하고 있고, 이로 인하여 수중콘크리트의 사용이 증대되고 있으며, 수중구조물의 내구성, 수밀성, 안정성을 확보하기 위한 품질관리에 더욱 관

* 부경대학교 공과대학

키워드 : 해양공사, 수중 비분리 콘크리트, 수중 비분리 혼화제, 고유동화제, 자동충진성, 압축강도

심을 가지게 되었다.

이러한 수중콘크리트공사의 품질관리에서 최대난점은, 수중에 콘크리트를 낙하시킬 때 시멘트가 물에 씻겨 골재와 분리되는 재료분리현상이다.

최근까지의 수중콘크리트에 대한 연구동향을 살펴보면, 주로 일반콘크리트를 사용하였고, 재료분리를 방지할 수 있는 시공방법에 중점을 두고 연구되어 왔으며, 연구결과 트레미를 이용하는 방법, 밀열림 상자의 활용방법, 펌프압송방법 등이 개발되었다. 그러나 이러한 방법들을 활용하더라도 수중타설시 시멘트의 손실로 인한 콘크리트 품질의 불균일성, 강도의 신뢰성저하, 수밀콘크리트 제조의 어려움 등을 충분히 해결하기는 불가능 실정이다.¹⁾

그런데 최근에 국내에서도 고성능의 각종 혼화제(수중 비분리 혼화제, 고유동화제, 고성능 AE감수제 등)가 시판되고 있고, 특히 이들중 수중 비분리 혼화제는 콘크리트에 아주 강한 점성을 부여하는 성질이 있어서, 수중타설시에도 시멘트의 손실 및 재료분리가 거의 일어나지 않는다.²⁾

따라서 본 연구에서는 주로 해양공사에 대비하기 위한 목적으로, 제5종 내황산염시멘트를 사용하고, 시중에서 시판되고 있는 7개사의 혼화제(수중 비분리 혼화제, 고유동화제)를 사용하여, 같은 조건하에서 제조된 각 회사의 수중 비분리 콘크리트에 대한 각종 특성들을 파악해 보고자 한다.

II. 실험개요

1. 사용재료

본 연구에서 사용하는 시멘트는 제5종 내황산염시멘트를 사용하고, 굵은골재는 펌프압송성 및 충전성 등을 고려하여, 경남 통영군 도산면 법성리의 석산에서 생산된 25mm의

쇄석골재를, 잔골재는 경남 합천군 황강에서 채취한 천연골재를 사용하였다. 굵은골재와 잔골재는 체가름으로 입도조정하여 사용하였으며, 사용재료의 각종 특성은 Table-1과 같다.³⁾

Table-1. Physical properties of cement and aggregates

Materials	Properties
Cement	No. 5(Durable sulfate), Specific gravity : 3.08
Coarse aggregate	Crushed-stone 25mm, Specific gravity : 2.62, Water absorption : 1.6%, F. M. : 6.91, Unit weight : 1,690kg/m ³
Fine aggregate	Washed-sand, Specific gravity : 2.59, Water absorption : 1.8%, F.M. : 3.02, Unit weight : 1,660kg/m ³

또한, 본 연구에서 사용하고자 하는 수중 비분리 혼화제와 고유동화제는 Table-2와 같이 수중 비분리 혼화제는 대부분 분말이었고, 고유동화제는 대부분 액상이었다.

Table-2에서 %는 사용시멘트에 대한 백분율이고, CO-G는 수중 비분리 혼화제와 고유동화제가 혼합된 것을 나타내며, CO-D에 대한 표준사용량은 자료를 구할 수 없어 배합설계시 다른제품을 참조하였다.

2. 콘크리트의 배합설계⁴⁻¹¹⁾

본 연구에서 목표로하는 수중 비분리 콘크리트의 설계기준강도는 300kg/cm²이고, Slump flow는 50±5cm이며, 배합순서는 먼저 강제식 믹서에 모래와 25mm골재, 시멘트와 수중 비분리 혼화제를 넣고, 30초간 건비빔한 후, 물과 고유동화제를 투입하여 2분이상 충분히 믹싱하였다.

수중 비분리 콘크리트의 배합설계 조건은 Table-3과 같고, 배합비는 Table-4와 같다.

Table-2. Phase, color and standard using quantities of antiwashout underwater agent and superplasticizer

Mix designation	Antiwashout underwater agent			Superplasticizer		
	Phase	Color	Standard quantities	Phase	Color	Standard quantities
CO-A	Powder	White	1.8~2.5kg/m ³	Liquid	Yellow	0.7~3.0%
CO-B	Powder	Gray-white	1.0~2.5%	Liquid	Dark-brown	0.4~0.8%
CO-C	Powder	Light-yellow	0.5~1.0%	Liquid	White	1.0~2.0%
CO-D	Powder	White	-	Liquid	White	-
CO-E	Powder	White	2.0~3.0kg/m ³	Liquid	Dark-brown	1.0%
CO-F	Powder	White	0.15~1.0%	Liquid	Dark-brown	0.3~0.5%
CO-G	(Agent+Superplasticizer)mixture →			Powder	Gray-white	1.5%

Table-3. Mix condition

σ_{ck} (kg/cm ²)	G_{max} (mm)	Slump flow (cm)	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Antiwashout underwater agent	Superplasticizer
300	25	50 ± 5	No.5 Durable sulfate	Hwang river sand	Tongyung crushed-stone	Standard quantity	Standard quantity

Table-4. Mix proportions

σ_{ck} (kg/cm ²)	G_{max} (mm)	Slump flow (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weights (kg/m ³)					
					W	C	S	G	Admixtures	
									Antiwashout underwater agent	Superplasticizer
300	25	50 ± 5	38	39.1	Variable	587	604	893	Standard quantity	Standard quantity

3. 실험항목 및 측정방법

가. 압축강도 측정용 공시체 제작

수중 비분리 콘크리트의 압축강도 측정용 공시체는 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형몰드를 이용하여 제작하였다.

공시체 수는 재령별로 7일, 28일의 압축강도 측정용 각 1조씩과, 양생조건별로 실온담수중 양생용, 실온해수중 양생용, 온도저하시 (15°C 전후) 해수중 양생용 각 1조씩을 제작하였으며, 각 회사별로는 2조 × 3조 × 3개 = 18 개씩 제작하였다.

공시체 제작에서 실온담수중 양생용 공시체

는 참고용으로 제작하였으며, 일반콘크리트의 공시체 제작방법과 같이 몰드에 1/3씩 채우면서 각각 25회의 다짐을 하면서 제작하였고, 실온해수중 양생용과 온도저하시 해수중 양생용 공시체 제작은 우선 수조에 몰드를 넣고 몰드 상단에서 10cm 위까지 해수를 채운 후, Hand scoop를 이용하여 10등분 이상으로 분할하여 수면에서 조용히 수중낙하시켜 공시체를 제작하였다.^{7,12)}

나. 양생방법

본 연구에서는 해양공사에 대비하기 위하여 가능한 한 현장여건과 유사하게 콘크리트를

양생한다는 전제하에 해수를 사용하였으며, Ice box에 비닐봉지에 싼 얼음을 넣어 해수의 온도를 15℃ 전후로 저하시킨 상태에서 양생을 실시하였다.

또한, 참고로 실온의 담수중 양생방법과 실온의 해수중 양생방법도 동시에 실시하였다.

다. 콘크리트의 재료분리시험

본 연구에서는 각 회사의 수중 비분리 혼화제와 고유동화제를 사용한 콘크리트를, 수중에서 타설할 때 몰탈의 유실에 의한 수질오탁 정도를 측정하기 위하여, 수중에 몰드를 거치한 후, 콘크리트를 자유낙하시킬 때 발생하는 현탁액을 채취하여, 현탁도와 현탁액의 pH를 측정하여 수중분리도의 척도로 하였으며, 일본 토목학회에서 1991년에 제정한 수중 비분리 콘크리트 평가자료에 준하였다.

시험방법은 1000cc 비이커(외경 110mm, 높이 150mm)에 800cc의 물을 채우고, 500g의 콘크리트를 10등분으로 분할하여 수중에 투입한 다음, 비이커에 물 600cc를 채취하여 현탁도와 현탁액의 pH를 측정하였다. 이때 시간경과에 따른 변화를 측정하기 위하여, 콘크리트를 투입한 후 5분, 20분, 40분 마다 현탁도와 현탁액의 pH를 측정하였으며, 특히 pH측정은 리트머스시험지와 pH측정기(Batch No.0395)를 사용하여 측정하였다.

라. 공기량측정

콘크리트에 과다한 공기량의 혼입은 강도저하의 치명적인 원인이 되기 때문에, 각 회사별 수중 비분리 콘크리트의 공기량을 측정하였다.

마. 콘크리트의 응결시험

시멘트에 물을 가하면 화학반응(수화작용)이 시작되고, 시간이 경과할수록 점차 유동성을 잃어 겨우 형태를 유지하게 되는데 이를 응결이라 한다.

본 연구에서는 주로 해양공사에 대비하기 위한 실험이므로, 콘크리트의 응결특성이 시공과정에서 중요한 영향을 미친다. 예를들면 응결시간이 너무 빠른 콘크리트는, 현장 여건으로 인하여 공사가 일시 중단될 경우, 구조물에 시공이음을 형성하게 되고, 응결시간이 너무 느린 콘크리트는 타설후 현장여건에 따라 압축강도 발현에 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 비이커법과 길모아법 두가지 방법에 의해 초결과 종결을 측정하였다.

바. 콘크리트의 단위중량시험

수중 및 기중에서 제작된 콘크리트의 유동성과 충전성을 측정하기 위한 비교적 간단한 방법은 경화후 콘크리트의 단위중량을 측정하는 방법이다.

특히 본 연구에서는 해양공사시 콘크리트를 수중에서 자유낙하시킬 때 자동충진성(Self levelling)이 요구되므로, 각 회사별 수중 비분리 콘크리트의 단위중량을 재령과 양생조건별로 측정하였다.

사. 콘크리트의 압축강도시험

각 회사의 수중 비분리 혼화제와 고유동화제를 사용한 수중 비분리 콘크리트의 압축강도를 KS F 2405의 규정에 따라 시험하였다.

압축강도는 재령 7일, 28일에 실온담수중 양생, 실온해수중 양생과 온도저하시 해수중 양생한 공시체를 각각 3개씩 측정하여 평균하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 콘크리트의 재료분리 특성

각 회사의 수중 비분리 혼화제를 사용한 수중 비분리 콘크리트의 시간별 현탁도와 현탁액의 pH를 측정된 결과치는 Table-5와 같다. Table-5를 참조하고, 일본토목학회의 규정

Table-5. Test results of suspension and pH

Mix designation	Suspension(g/ℓ)									pH		
	5min			20min			40min			Litmus paper	pH Meter	Average
	Measured value	Average		Measured value	Average		Measured value	Average				
CO-A	1.3	1.6	1.45	0.7	1.0	0.9	0.5	0.8	0.7	9.0	7.0	8.0
CO-B	16.0	15.7	15.9	9.7	9.3	9.5	1.5	1.2	1.4	8.0	8.0	8.0
CO-C	2.3	1.7	2.0	1.3	2.0	1.7	1.3	1.3	1.3	8.0	8.2	8.1
CO-D	0.8	1.2	1.0	1.0	0.7	0.9	0.8	0.5	0.7	9.0	8.2	8.6
CO-E	2.3	3.3	2.8	1.3	1.0	1.2	1.0	0.7	0.9	10.0	8.6	9.3
CO-F	2.0	1.7	1.9	1.3	2.0	1.7	1.2	1.5	1.4	14.0	11.0	12.5
CO-G	2.2	2.8	2.5	1.5	2.2	1.9	1.2	2.2	1.7	14.0	11.2	12.6

치(탁도 5.0g/ℓ 이하, pH 12 이하)와 비교하여 보면, 탁도에서는 CO-B가 현저하게 높아 규정치를 상회하고 있고, 나머지는 모두 규정치 이하이었다. 또한 pH에서는 CO-F와 CO-G가 규정치를 약간 상회하고 있고, 나머지는 모두 규정치 이하이었다.

2. 콘크리트의 공기량 특성

각 회사의 수중 비분리 콘크리트에 혼입된 공기량을 측정한 결과치는 Table-6과 같다.

Table-6. Test results of air contents

Mix designation	CO-A	CO-B	CO-C	CO-D	CO-E	CO-F	CO-G
Air contents (%)	1.4	3.5	4.9	2.0	2.5	1.8	2.0

Table-6을 일본토목학회 수중 비분리 콘크리트의 설계지침(안)의 규정치(4%이하)와 비교하여 보면, CO-C가 4.9%로 규정치 이상이고, 나머지는 모두 규정치 이하로 공기량 혼입이 아주 작았다.

3. 콘크리트의 응결 특성

각 회사의 수중 비분리 콘크리트의 응결시간인 초결과 종결을 측정한 결과치는 Table-7과 같다.

Table-7. Test results of setting time

Mix designation	CO-A	CO-B	CO-C	CO-D	CO-E	CO-F	CO-G
Initial (hr-min)	6-29	9-35	7-26	8-05	7-16	11-16	16-30
Final (hr-min)	10-23	11-40	11-06	10-51	11-45	18-50	20-21

Table-7에서 보면 CO-A의 초결과 종결이 가장 빠르고, CO-G가 가장 느리며 그 차이는 약 10시간 정도이다. 그리고 각사의 초결과 종결의 시간차는 대략 3시간 전후이나 각사마다 그 차이는 각각 다르게 나타났다.

4. 콘크리트 단위중량 특성

각 회사의 수중 비분리 콘크리트의 단위중량을 재령과 양생조건에 따라 측정한 결과치는 Table-8과 같다.

Table-8에서 담수중에서 양생한 콘크리트는, 공시체 제작시 일반콘크리트의 공시체 제작방법과 같이 다짐을 하면서 제작한 관계로, CO-C를 제외하고는 2,300kg/m³ 이상이나, 해수중에서 양생한 콘크리트는 다짐을 하지 않고 자동충진성을 이용하여 공시체를 제작한 관계로 CO-D를 제외하고는 모두 2,300kg/m³ 이하로, 무근콘크리트의 단위중량 2,350kg/m³ 보다 작았다.

5. 콘크리트의 압축강도 특성

각 회사의 수중 비분리 콘크리트의 재령 7

Table-8. Test results of unit weight

(Unit : kg/m³)

Curing condition	Days	CO-A	CO-B	CO-C	CO-D	CO-E	CO-F	CO-G
Fresh water	7	2,322	2,305	2,276	2,302	2,309	2,312	2,304
	28	2,324	2,318	2,278	2,336	2,322	2,331	2,322
Salt water	7	2,287	2,243	2,250	2,308	2,302	2,159	2,287
	28	2,268	2,289	2,277	2,309	2,287	2,205	2,296
Salt water(15°C)	7	2,298	2,278	2,259	2,302	2,296	2,114	2,275
	28	2,310	2,266	2,248	2,314	2,297	2,095	2,296

일, 28일에서의 실온담수중 양생, 실온해수중 양생, 온도저하시 해수중 양생한 콘크리트의 압축강도는 Table-9와 같다.

Table-9. Test results of compressive strength

(Unit : kg/cm²)

Mix designation	Fresh water		Salt water		Salt water(15°C)	
	σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}
CO-A	229.3	384.4	193.4	262.2	227.6	286.0
CO-B	311.9	362.8	182.2	288.1	154.5	245.4
CO-C	231.0	319.1	206.5	254.4	232.9	293.0
CO-D	286.8	408.9	269.2	331.2	266.9	360.7
CO-E	296.6	428.4	260.9	360.1	263.7	359.2
CO-F	322.3	420.4	143.3	180.5	103.2	136.3
CO-G	287.6	400.0	237.8	309.3	238.2	301.9

Table-9를 양생조건별로 나타내면 Fig. 1~ Fig. 3과 같고, 재령별로 나타내면 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

Fig. 1~Fig. 3에서 각 회사마다 양생조건에 따라 약간의 차이는 있으나, 각 회사의 28일강도(σ_{28})를 7일강도(σ_7)에 비교하여 보면 거의 비슷한 정도의 강도증진이 있음을 알 수 있다.

Fig. 4와 Fig. 5에 의하면 담수에서 CO-B와 CO-F의 압축강도는 다른회사에 비해 비슷하거나 오히려 높은 반면, 해수에서의 압축강도는 현저히 낮음을 알 수 있다. 이것은 각 회사의 혼화제의 성분의 차이에 의한 것으로 추정된다.

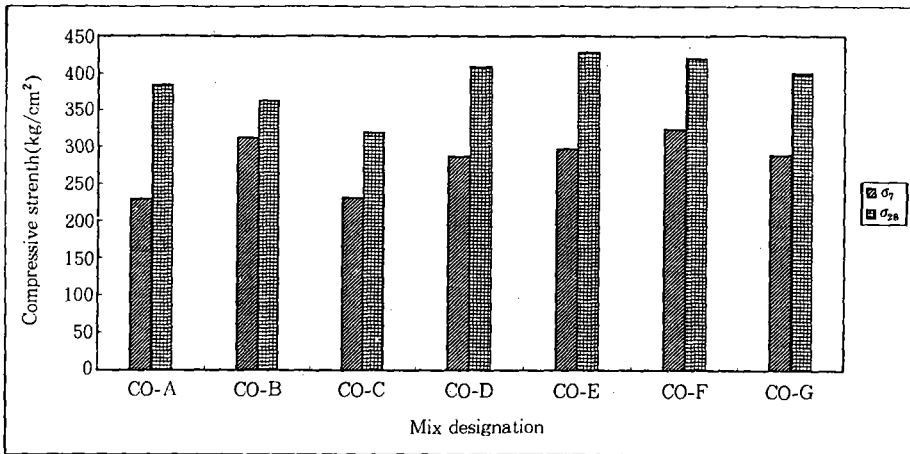


Fig. 1. Comparison of compressive strength in fresh water

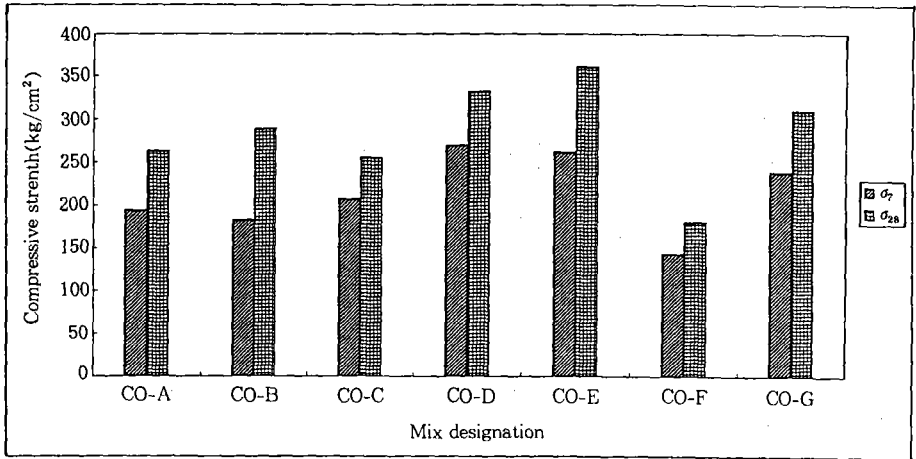


Fig. 2. Comparison of compressive strength in salt water

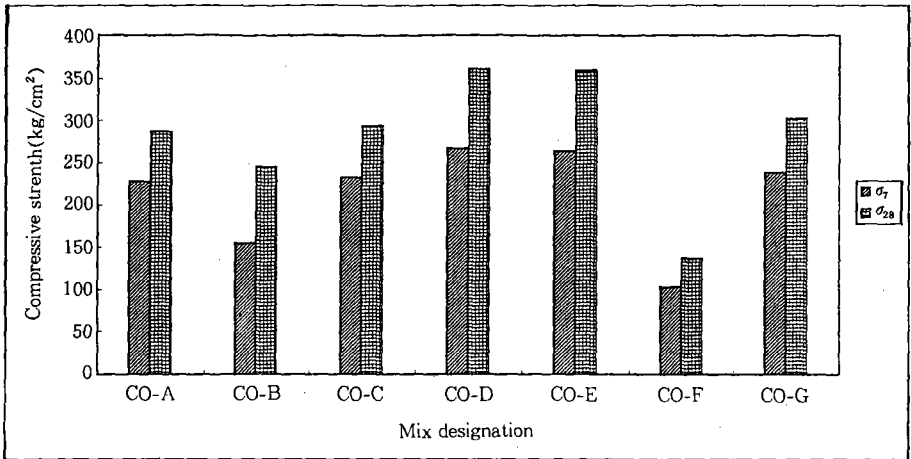


Fig. 3. Comparison of compressive strength in salt water at 15°C

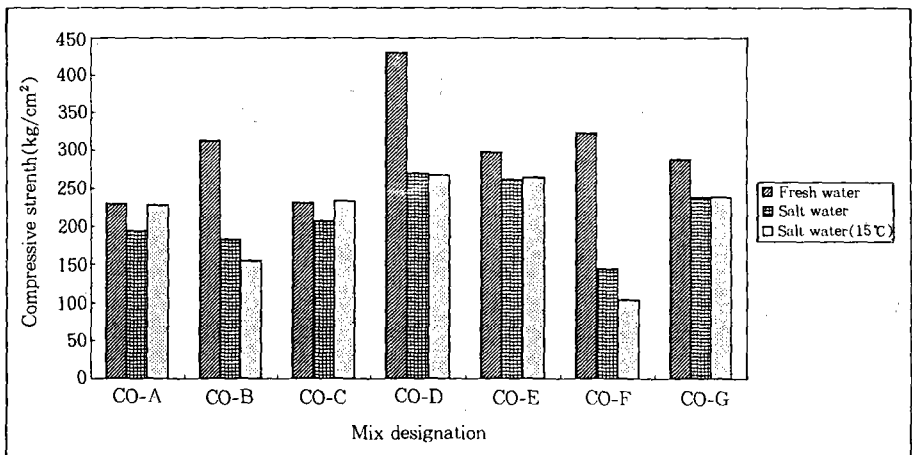


Fig. 4. Comparison of compressive strength at age of 7 days

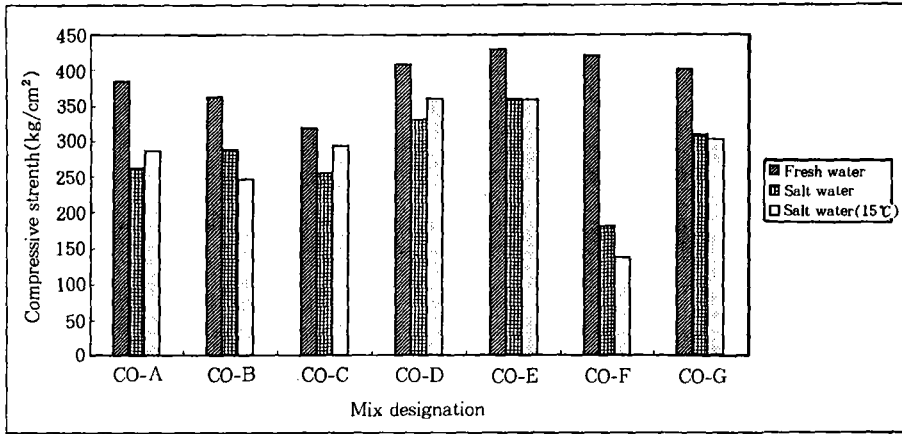


Fig. 5. Comparison of compressive of at age of 28days

Table-10. Comparison of compressive strength

Mix designation	(kg/cm ²)					
	Fresh water		Salt water		Salt water(15°C)	
	σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}
CO-A	229.3	384.4	0.84	0.68	0.99	0.74
CO-B	311.9	362.8	0.58	0.79	0.50	0.68
CO-C	231.0	319.1	0.89	0.80	1.00	0.92
CO-D	286.8	408.9	0.94	0.81	0.93	0.88
CO-E	296.6	428.4	0.88	0.84	0.89	0.84
CO-F	322.3	420.4	0.45	0.43	0.32	0.32
CO-G	287.6	400.0	0.83	0.77	0.83	0.76

또한 담수와 해수의 강도차이를 비교하기 위하여, 각 회사의 담수의 압축강도를 기준으로 한 해수의 압축강도비는 Table-10과 같다.

Table-10에서 살펴보면 앞에서 언급한 바와 같이 해수에서 CO-B와 CO-F의 압축강도는 담수에서의 압축강도에 비하여 50%이하로 현저히 낮고, 나머지는 대략 80%전후로 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 주로 해양공사의 수중콘크리트공사에 대비하기 위한 목적으로 설계기준강도 300kg/cm², 골재최대치수 25mm, slump flow 50±5cm, 제5종 내황산염시멘트를 사용

하는 설계조건을 중심으로, 현재 시중에서 시판되고 있는 7개사의 혼화제(수중 비분리 혼화제, 고유동화제)를 사용하여, 같은 조건하에서 제작된 각 회사의 수중 비분리 콘크리트에 대한 각종 특성치를 측정, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공시체 제작과정에서 CO-F의 수중 비분리 콘크리트는 slump flow가 제대로 형성되지 않았고, 나머지는 이상이 없었다.

(2) 각 회사의 혼화제의 표준사용량을 사용한 수중 비분리 콘크리트의 재료분리저항성을 현탁물질량과 pH를 측정하여 검토한 결과, 현탁물질량에서는 CO-B가 기준치를 2배이상 상회하였고, pH에서는 CO-F와 CO-G가 기준치를 약간 상회하였다.

(3) 각 회사의 수중 비분리 콘크리트에 혼입된 공기량을 측정된 결과 CO-C가 4.9%로 가장 높았고, 나머지는 3.5% 이하이었다.

(4) 각 회사의 수중 비분리 콘크리트의 응결시간인 초결과 종결을 측정한 결과, 가장 빠른 CO-A와 가장 느린 CO-G와는 10시간의 차이가 있었고, 각 회사별 초결과 종결의 차이는 약 3시간 전후이었다.

(5) 콘크리트의 유동성과 충전성을 측정하기 위하여, 각 회사의 수중 비분리 콘크리트의

단위중량을 측정된 결과 CO-D는 2,300kg/m³ 이상이었고, 나머지는 2,300kg/m³ 이하로, 설계시 무근콘크리트의 단위중량인 2,350kg/m³ 보다는 작았다.

(6) 각 회사의 수중 비분리 콘크리트의 압축강도를 측정된 결과, CO-B와 CO-F의 담수중 압축강도는 다른회사에 비해 비슷하거나 오히려 높은 반면, 해수중 압축강도는 현저히 낮는데, 이것은 각 회사의 혼화제 성분의 차이에 의한 것으로 추측된다. 또한 담수양생시와 해수양생시의 압축강도 차이는 담수양생시를 기준으로 할 때 CO-B와 CO-F는 50% 이하이었고, 나머지는 80% 전후이었다.

(7) 상기의 결과를 살펴볼 때 우리나라에서 시판되고 있는 수중 비분리 혼화제와 고유동화제는 부분적인 결합은 조금씩 있으나, 재료시험을 통하여 사용량을 적절히 조절한다면 해양공사에 사용해도 무난할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 오상근, 조인성, “수중불분리제 및 방수제”, 콘크리트학회지, Vol.8, No.2, pp.41-56, 1996.
2. 김진철 외 3인, “수중불분리성 콘크리트의 기초물성에 대하여”.
3. 김종수, “토건재료실험”, 형설출판사, 1990.
4. 關博, “日本土木學會, 水中不分離性 콘크리트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.
5. “明石海峽大橋 2P, 3P 特殊水中コンクリート工事”
6. 財團法人沿岸開發技術研究センターほか, “水中不分離性 콘크리트・マニュアル(設計・施工)”, 山海堂, 1990.
7. (주)해강 부설 해강기술개발연구소, “수중 비분리 콘크리트 개발에 관한 연구”, 1995.
8. 한국건설자재시험연구원, “레미콘 기술교육”, 1995.
9. 문한영, 김성수, “최신 토목재료학”, 구미서관, 1996.
10. Y. O. Tanigawa, “초유동, 초고강도 콘크리트”, 대한토목학회 부산경남지회 초청강연집, pp. 3-49, 1995.
11. 대한토목학회, “콘크리트표준시방서”, 건설부, 1988.
12. 정윤중, “고성능 시멘트 모르타르 그라우트재 개발 및 특성에 관한 연구”, 명지대학교 박사학위논문, 1994.

(접수일자 : 1996년 8월 16일)