

내해수성 주입재 배합에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on the Seawater Attack Resistance of Grouting Mixtures

천 병 식¹⁾ · 최 동 찬²⁾ · 김 영 훈³⁾ · 김 진 춘[†]

Chun, Byungsik · Choi, Dongchan · Kim, Younghun · Kim, Jinchun

ABSTRACT : In seawater deposition condition, the corrosion and chemical attack of grouts are similar to those of concrete structure. Used in domestic MSG (Micro Silica Grouting) mixture large amounts of silicate materials containing as cement powder is 8,000 cm²/g of the specific surface area or more due to the high hydration activity and high-strength, high durability, and features, C₃A content of less than 5% to meet the standards chemical attack of seawater was evaluated as a cement material. Therefore, in this paper, with excellent seawater attack resistant MSG in combination with rapid hardening mineral was used, those of seawater characteristics were evaluated experimentally. Typically, sodium-silicate minerals or rapid hardening cements are used in domestic. About the homogel specimens with combination of MSG and rapid hardening agents for compressive strength, weight and length change characteristics were evaluated experimentally, and so we could present the excellent seawater resistant grouts combination.

Keywords : Seawater attack resistance, Grouting mixtures, MSG (micro silica grouting)

요 지 : 해수 침적 조건에서 시멘트 수화물이 부식되는 화학적 열화과정은 콘크리트 구조물이나 주입공사 목적물에서 동일하다. 국내에서 사용되고 있는 MSG(Micro Silica Grouting)주입재는 실리카질 물질이 다량 함유된 혼합계 시멘트로서 분말도가 8,000cm²/g 이상으로 높기 때문에 수화활성도가 매우 크고, 고강도 및 고내구성을 특징으로 하며, C₃A 함유량도 5% 이하로 내황산염시멘트 규격을 만족하는 내해수성 시멘트재로 평가된다. 따라서, 본 논문에서는 내해수성이 우수한 MSG와 국내에서 사용되고 있는 급결재를 조합하여 내해수성 특성을 실험적으로 평가하였다. 국내에서 일반적으로 규산계 고탄성 급결재 또는 초속경시멘트계 무기질 급결재가 사용되고 있다. 이들 급결재와 MSG가 조합된 주입재의 호모겔 시편에 대해서 압축강도, 중량변화 및 길이변화 특성을 실험적으로 평가하여 내해수성이 우수한 주입재 조합을 제시하였다.

주요어 : 내해수성, 주입재 배합, MSG(micro silica grouting)

1. 서 론

해수환경은 염화물, 황화물 등 부식을 촉진시키는 성분이 많이 함유되어 있으므로 일반 지하수환경과는 다른 화학적 그라우팅 설계가 요구된다. 따라서, 해저시설물 및 해저 지하공동 주변의 손상영역에 대한 차수·지수가 필요한 경우 해수환경에 적합한 주입재료의 선정이 그라우팅 설계의 중요한 검토인자가 되어야 한다.

일반적으로 해수 중에는 염화물, 마그네슘 및 황산염이온 등 많은 유해이온들이 공존하고 있으며, 이들 이온의 화학작용에 의해 시멘트계 주입재의 수화물이 팽창, 파괴되기 때문에 개량지반의 내구성이 내륙지방에 비하여 크게 저하된다. 이와 같이 시멘트계의 내해수성 연구는 지금까지 콘크리트 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔으며, 일반적으로

여러 시멘트 및 첨가제를 이용하여 황산염에 대한 저항성이 강한 재료를 사용하고 있다.

본 논문에서는 해안지반에서 그라우팅 시공 시 주입재가 해수에 노출될 경우 해수 중의 각종 유해이온에 의해 주입재의 성능 저하가 발생되므로 이를 방지하기 위해 해수에 내구성이 강한 주입재 조합을 선정하고 그 특성치를 파악하기 위한 실내시험을 통해서 내해수성 주입재의 적절한 조합을 제시하고자 한다.

2. 주입재 특성

2.1 선정기준

지반보강을 위한 주입재의 선택은 주입목적(지수, 지하강화 등)과 주입의 형태(침투주입, 맥상주입 등)를 확인하고

1) 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

2) 비희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

3) 정희원, 한양대학교 토목공학과 석박사과정

† 정희원, 한국지오택 대표이사(E-mail : kig-2000@hanmail.net)

표 1. 물유리계 약액의 종류 및 특징(천병식, 1998)

종류	主劑	반응제	반응제의 종류	특성	
알카리형	현탁액	물유리	시멘트	시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • Gel-time과 강도는 시멘트량에 의해 결정된다. • Gel-time은 일반적으로 1~2분이 적합하다. 단, 몇초와 같은 순결성은 안된다.
	물유리	시멘트·슬래그	시멘트·슬래그	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트량을 증가시키지 않고 겔화시간을 적절히 유지하면서 높은 강도를 얻을 수 있다. 	
	물유리	슬래그·석회	슬래그·석회	<ul style="list-style-type: none"> • 순결에서 10분 정도의 겔화시간의 선정이 가능하고, 강도는 임의의 것이 얻어진다. 	
	물유리	석고	석고	<ul style="list-style-type: none"> • 순결의 겔화시간이 얻어지고, 몇시간에 최종강도가 된다. 	
특수실리카형	활성실리카(특수규산)			<ul style="list-style-type: none"> • 강도·내구성에 우수하며, 항구그라우트로서 사용될 수 있다. 	
	칼슘실리케이트졸			<ul style="list-style-type: none"> • 강도·내구성에 우수하며, 항구그라우트로서 사용될 수 있다. 호모겔 강도가 극히 높다. 	
	초미립자실리카			<ul style="list-style-type: none"> • 침투성과 내구성이 우수하며, 장기강도의 증가가 현저하고 또한 거의 중성이므로 수질보전성이 뛰어나다. • 항구성 그라우트로서 사용가능하다. 	
비알카리성	현탁액형	실리카졸	시멘트	시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 물유리에 산을 더해서 알칼리산을 제외한 실리카졸을 사용한다. 실리카졸 농도나 반응제에 의해 순결에서 몇 분 까지 얻어진다. 또한, 용탈이 적고 안전성이 좋다.
	용액형	물유리	산성용액	인산(H ₃ PO ₄), 황산(H ₂ SO ₄), 황산나트륨(NaHSO ₄)	<ul style="list-style-type: none"> • 물유리에 직접 산성용액을 더한 중성영역에서 겔화시키는 것으로, 순결로 사용될 때가 많다.
		실리카졸	촉진제(염)	염기성염, 산성염, 물유리(mNa ₂ O·nSiO ₂) 등	<ul style="list-style-type: none"> • 물유리에 산을 더해서 알칼리를 제외한 실리카졸 농도나 반응제에 의해 순결에서 완료까지 조정이 가능하며, 실리카의 용탈이 적고 안전성이 좋다.

표 2. 초속경시멘트계 급결재 특징(천병식, 1998)

종류	主劑	반응제	반응제의 종류	특성
시멘트계 급결재	아원 광물	시멘트	석고(SO ₃), 알루미늄(Al ₂ O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트계 급결주입제는 초기에 겔형성을 하는데 주요한 역할을 하는 시멘트계 재료 중 석고와 C₃A의 수화반응을 이용하여 겔을 형성한다.

지반의 간극율, 투수성, 지하수 상황, 재료의 침투성, 강도와 내구성 등을 고려하여야 한다.

사질지반에서 지수를 목적으로 할 경우에는 물유리계 약액 중에서 침투성이 우수한 주입재를 선정하는 것이 일반적이다. 용수에 대한 대응조치로써는 겔시간이 짧은 약액이 효과적이지만 지반의 수밀성을 높이기 위한 계획 주입에서는 겔시간이 긴 약액으로 토립자 사이의 침투를 피하는 것이 바람직하다. 점토성 지반인 경우에는 현탁액형 약액이나 겔시간이 짧은 약액을 주입하여 맥상주입을 유도하는 것이 효과적인 경우가 많다.

지반강화가 주목적인 경우에는 고결강도가 크고 침투성이 좋은 약액이 좋다. 사질지반에 대해서는 침투성이 좋고 고결강도를 얻을 수 있는 현탁액형 약액이 적합하며 점성토 지반에서는 입자간 침투에 의한 지반강화작용을 기대할 수 없으므로 현탁액형 약액이나 겔시간이 짧은 용액형 물유리계 약액을 선정하여 할렬주입하는 것이 일반적이다(서울시, 1996).

2.2 급결재의 종류

겔시간을 조절하는 급결재는 무기계 물유리와 급결시멘트, 유기 고분자계 약액으로 구분될 수 있다. 일본에서 1974년

약액에 의한 지하수 오염사고 이후 고분자계 약액의 사용이 엄격히 제한되면서 무기계 약액의 품질개량이 급속히 진행되었고 물유리와 물유리로부터 파생된 급결재의 사용이 보편화 되었으며, 물유리계 약액의 종류 및 특징은 표 1과 같다.

한편, 무기계 급결재 중에서 최근 국내에서 사용되고 있는 초속경시멘트계 급결재의 특징은 표 2와 같다.

3. 내해수성 주입재 실험

3.1 주입시멘트 선정

일반적으로 해수에는 NaCl, MgCl₂와 같은 염화물이 30,000 ppm 정도, MgSO₄등과 같은 황화물이 2,000ppm 정도 용해되어 있으며, 해수 중의 염화물과 황화물은 시멘트수화물과 철근 부식에 결정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

주입재의 경우 토립자 사이에 소량으로 협재되어 지하수에 노출된 상태이므로 해수 중에 함유된 염화물과 황화물에 의해서 직접적인 침식을 받을 수 밖에 없기 때문에 내해수성이 강한 주입재를 선정하는 것이 요구된다. 그림 1은 염화물과 황산염에 의한 시멘트 수화물의 화학적 부식 과정을 설명하고 있다(김진춘, 1999 ; 米倉 亮三 등, 2007).

그림 1로부터 시멘트 광물 중에 C₃A가 다량 포함된 경우

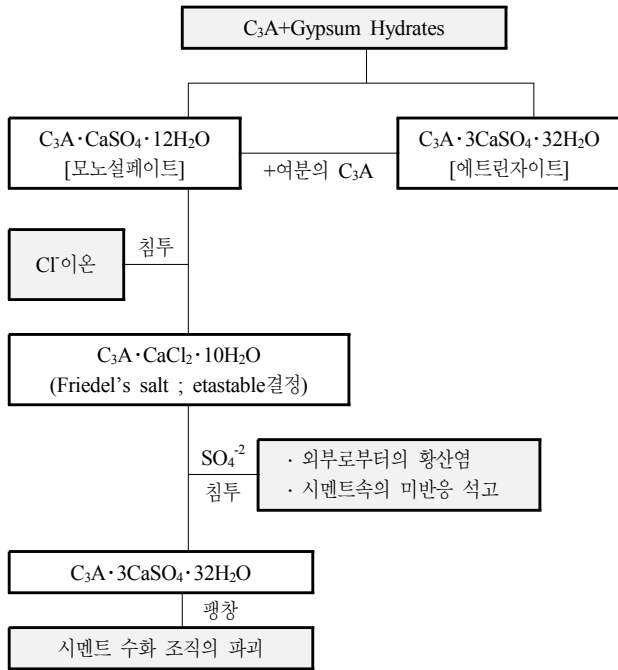


그림 1. 염화물과 황산염에 의한 시멘트 수화물의 화학적 부식과정

1차 수화물인 monosulfate와 2차 반응하여 팽창성 수화물인 ettringite로 변환된다. 또한, monosulfate가 해수 중의 Cl⁻이온과 SO₄²⁻이온이 반응하여 불완전한 결정의 Friedel's salt로 변하고, Friedel's salt가 재차 시멘트 속의 미반응석고와 반응하거나 지하수 또는 토양속의 황산염과 반응하여 팽창성 ettringite로 변화하는 cycle이 순환되면서 시멘트 수화조직이 파괴된다. 따라서, 상기 열화기구에서 알 수 있듯이 해수 환경에서 팽창과피를 제어하기 위해서는 C₃A가 적은 주입재를 사용하는 것이 요망된다. 일반적으로 해수환경에서는 C₃A광물의 함유량을 5% 이하로 규정된 내황산염시멘트를 사용하거나 슬래그, 플라이애시 등 실리카질 물질이 다량 함유된 포틀랜드혼합시멘트를 사용하도록 규정하고 있다.

최근 국내에서 실용화되고 있는 MSG(micro silica grouting) 주입재는 실리카질 물질이 다량 함유된 포틀랜드슬래그혼합시멘트로서 분말도가 8,000cm²/g 이상으로 높기 때문에 수화활성도가 매우 크고, 고강도 및 고내구성을 특징으로 하며, C₃A함유량도 5% 이하로 보고되고 있으므로 내황산염시멘트 규격을 만족하는 내해수성 주입재로 적합하다. 따라서, 본 연구에서는 내해수성 주입시멘트로 C₃A함량이 KS

표 5. 수조별 인공해수 조성 비율

수조별 구별	염분비율(%)	인공해수 조성표(g/l)				
		NaCl(염화나트륨)	MgCl ₂ ·6H ₂ O(염화마그네슘)	Na ₂ SO ₄ (황산나트륨)	CaCl ₂ (염화칼슘)	KCl(염화칼륨)
0배수(담수)	0	-	-	-	-	-
1배수 해수	35	24.53	5.20	4.09	1.16	0.695
2배수 해수	70	49.06	10.4	8.18	2.32	1.39

표 3. 내해수성 시험계획

구분	시험내용
실험기간	· 2008. 3~2009. 5(14개월)
침적조건	· 담수, 인공해수 2종(1배수, 2배수)
주입재 조합	· 규산계 SM ^{*1} 3.0 + MSG
	· 규산계 SM 4.0 + MSG
	· 아원계급결재 + MSG
특성치	· 압축강도·중량변화·길이변화

*1SM(Silica Molar ratio)는 SiO₂/Na₂O×1.032로 계산되며, SM이 높을수록 고활성화 규산계임.

표 4. 국내 해안지역 온도 및 염분

구 분	온 도(℃)	염 분(‰)
동 해	6~24	33.8(여름)~34.1(겨울)
남 해	14~27	32.0(여름)~34.0(겨울)
황 해	8~27	31.0(여름)~32.0(겨울)

규정치 이하로 관리되고 있는 MSG를 내해수성 주입시멘트로 선정한다.

3.2 내해수성 실험

3.2.1 시험방법

3.1절에서 내해수성이 우수한 주입용 시멘트로 MSG를 선정한 것을 전제하고 본 장에서는 급결재의 내해수성을 실험적으로 평가한다. 본 절의 시험에 사용되는 급결재는 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 규산계와 초속경시멘트계를 선정하고 해수에 노출될 경우 해수 중의 염화물이나 황화물에 의해 주입재의 성능저하가 발생하므로 이를 평가하기 위해 표 3과 같이 실내시험을 실시하여 공시체의 압축강도, 길이변화, 중량변화 등을 비교 검토한다.

3.2.2 인공해수 제조

인공해수 제조는 해수염(99%농도) 약품을 이용하여 자연해수의 염도비율 0배수(담수), 1배수, 2배수로 총 3개 침적조건으로 하고 인공해수 염분 농도는 국내 해안지역 온도 및 염분 조사 자료인 표 4를 참고하여 염분비 일정법칙의 크누센 실험식으로 표 5와 같이 제조하였다(윤의식 등, 2005 ; 문한영 등, 2000 ; 문한영 등, 2001).

3.2.3 시험장치

인공해수를 조제하여 그림 2와 같은 시험장치를 만들어서 해수침적실험을 수행한다. 시험기간 동안 공시체로부터 용탈되는 알카리에 의한 pH변화를 7~9 범위에서 유지되도록 염산 투입장치를 활용하였으며, 수온은 실내에서 실험하므로 15~25°C를 기록하여 우리나라 근해 해수온도와 유사한 수준을 유지할 수 있었다(한국지오택, 2006).

3.2.4 특성치

시험 특성치는 압축강도, 중량변화, 길이변화 등을 재량별로 측정하며, 시험방법은 다음과 같다.

(a) 압축강도

5cm×5cm×5cm 입방체 호모겔 공시체를 제조 1일 후 탈형하고 각 시험수에 침적시켜 재령 1, 3, 7, 28일까지 각각 KS L 5105 “수경성 시멘트 모르타의 압축강도 시험방법”에

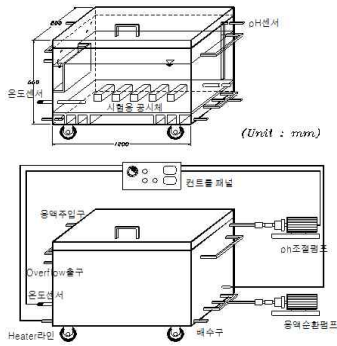
의하여 압축강도를 측정한다.

(b) 중량변화

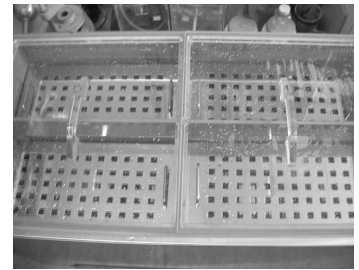
압축강도용 호모겔 공시체와 동일한 조건으로 공시체를 제조하여 시험수에 침적한 후 중량변화를 재령 7, 14, 21, 28일로 평가하며, 중량 측정 시 수조에서 꺼낸 공시체는 물기를 제거한 후 상온에서 10분 정도 방치 후 중량을 측정한다.

(c) 길이변화

압축강도 및 중량변화용 호모겔 공시체와 동일한 배합 및 양생을 실시한 후 공시체를 시험수에 침적시켜 재령 7, 14, 21, 28일까지 각각 버니어캘리퍼스를 이용하여 길이변화를 측정하며, 측정 시 중량변화 시험과 동일한 방법으로 공시체의 물기를 충분히 제거 후 처음 측정된 방향으로 길이를 측정한다.

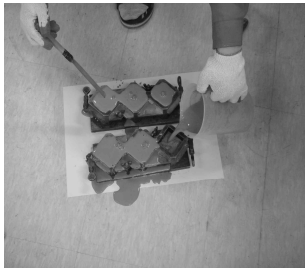


(a) 내해수성 시험기



(b) 내해수성 시험기 내부

그림 2. 내해수성 시험기 모식도 및 사진



(a) 시편제작



(b) 시편제작 완료



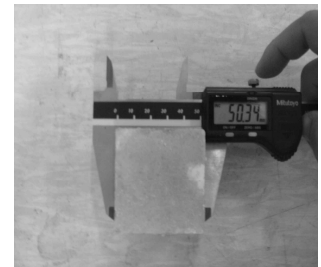
(c) 시험수 침적



(d) 압축강도시험



(e) 중량시험



(f) 길이변화 시험

그림 3. 시험방법

4. 시험결과 분석

담수, 자연조건에 가까운 1배수 인공해수 및 자연조건 해수의 2배수 인공해수에 대한 침적조건에 따라서 압축강도, 중량변화 및 길이변화의 측정치를 분석한 결과는 다음과 같다.

4.1 담수 침적 시험결과

담수 침적 조건에서의 압축강도, 중량변화, 길이변화 결과는 다음 표 6 및 그림 4와 같다.

표 6 및 그림 4로부터 담수 침적 조건에서 주입재 조합별 특성치 변화를 검토한 결과 압축강도는 재령별로 계속 증가하는 양호한 결과를 보이고 급결재 종류별로는 초속경시멘트계, 규산계4.0, 규산계3.0 순으로 초속경시멘트계 급결재를 사용하는 것이 강도측면에서 유리하였다. 한편, 중량변화와 길이변화의 재령별 차이는 거의 없었지만 중량변화에서 초속경시멘트계 급결재를 사용하는 경우가 규산계 급결재를 사용하는 경우보다 중량이 10% 이상 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 초속경시멘트계 급결재의 비중이 3.0 이상인 반면 규산계 급결재는 비중이 1.4 수준으로 주입재로

사용되는 급결재의 비중차에 의해서 호모젤 시편의 비중에 차이를 보인 것으로 추정되고 결국 강도발현 수준에 영향을 미친 것으로 추정된다.

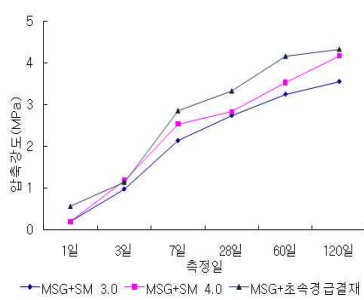
4.2 1배수 인공해수 침적 시험결과

1배수 인공해수 침적 조건에서의 압축강도, 중량변화, 길이변화 결과는 다음 표 7 및 그림 5와 같다.

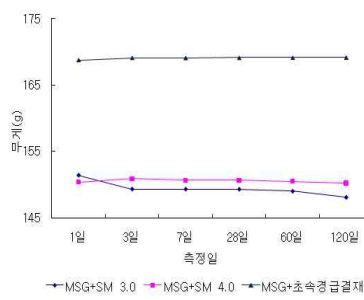
표 7 및 그림 5로부터 1배수 인공해수 침적 조건에서 주입재 조합별 특성치 변화를 검토한 결과 규산계 급결재를 사용하는 경우 압축강도는 재령별로 계속 증가하는 사진 2와 같이 양호한 결과를 보이고 있지만 초속경시멘트계 급결재를 사용하는 경우 7일 재령 이후 강도가 급격히 저하하여 사진 1과 같이 강도를 측정할 수 없는 상태로 호모젤 시편이 붕괴되었다. 한편, 중량변화와 길이변화는 약 1개월까지는 재령별 차이는 거의 없었지만 이후 장기재령에서 중량감소 및 수축변형의 경향을 보이고 규산물비가 클수록 중량감소 및 수축변형에 대한 저항성이 우수하다. 이와 같은 경향은 초속경계 급결재 중에 다량 함유되어 있는 C₃A 광물과 해수 중의 염화물이나 황화물과 반응하여 시멘트 수화조각

표 6. 담수 침적 조건의 시험 data

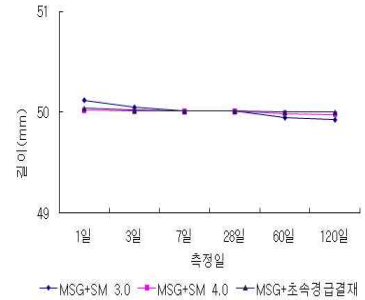
사용재료		재령별 특성치																	
주입재	급결재	압축강도(MPa)						중량변화(g)						길이변화(mm)					
A액	B액	1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일
MSG	SM3.0	0.19	0.97	2.13	2.73	3.24	3.54	151	149.3	149.3	149.3	149.0	148.1	50.1	50.1	50.0	50.0	50.0	49.9
	SM4.0	0.19	1.18	2.53	2.82	3.52	4.16	150.4	150.9	150.7	150.7	150.5	150.2	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	초속경 급결재	0.56	1.14	2.85	3.32	4.15	4.32	168.8	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0



압축강도 결과



중량변화 결과

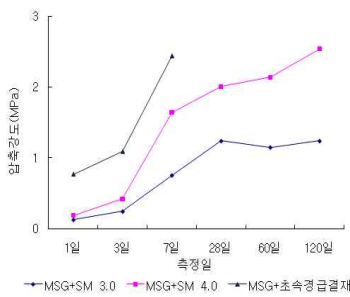


길이변화 결과

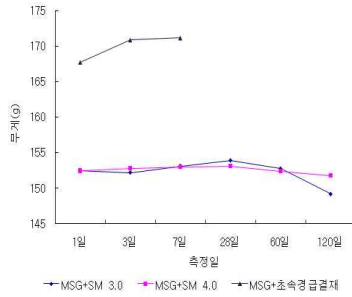
그림 4. 담수 침적 조건의 특성치 경향

표 7. 1배수 인공해수 침적 조건의 시험 data

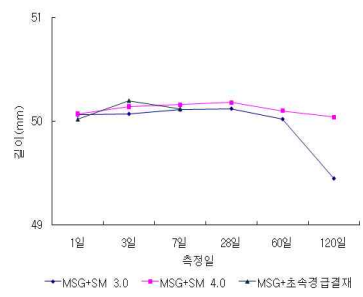
사용재료		일자별 특성치																	
주입재	급결재	압축강도(MPa)						중량변화(g)						길이변화(mm)					
A액	B액	1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일
MSG	SM 3.0	0.13	0.24	0.76	1.24	1.15	1.24	152.5	152.2	153.1	153.8	152.7	149.2	50.06	50.07	50.11	50.12	50.02	49.45
	SM 4.0	0.19	0.42	1.64	2.01	2.14	2.54	152.5	152.8	153.0	153.1	152.4	151.8	50.07	50.45	50.52	50.65	50.1	50.04
	초속경 급결재	0.77	1.09	2.44	측불	측불	측불	167.7	170.9	171.2	측불	측불	측불	50.02	50.2	50.22	측불	측불	측불



압축강도 결과



중량변화 결과



길이변화 결과

그림 5. 1배수 인공해수 침적 조건의 특성치 경향

이 파괴되는 그림 1의 이론적 메카니즘이 발생된 것으로 추정된다. 1배수 인공해수 침적 조건에서 초속경시멘트계와 규산계 호몰겔 시편상태 특성은 사진 1 및 사진 2와 같았다.

4.3 2배수 인공해수 침적 시험결과

2배수 인공해수 침적 조건에서의 압축강도, 중량변화, 길이변화 결과는 다음 표 8 및 그림 6과 같다.

표 8 및 그림 6로부터 2배수 인공해수 침적 조건에서 주입재 조합별 특성치 변화를 검토한 결과 규산계 급결재를 사용하는 경우도 28일 재령 이후에는 압축강도가 저하하는 경향을 보이고 있으며 초속경시멘트계 급결재의 경우는 1배수 인공해수 침적 조건에서와 같이 시간이 경과됨에 따라 시편이 파괴되었으며, 또한, 중량변화와 길이변화는 1배수 인공해수 침적 조건보다 약간 더 악화된 상태로 변화가 발



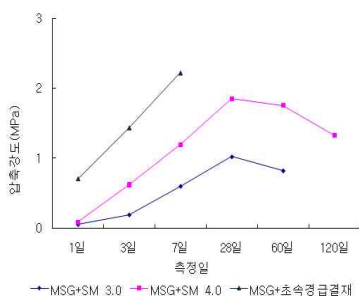
사진 1. 초속경시멘트계 시편상태(28일)



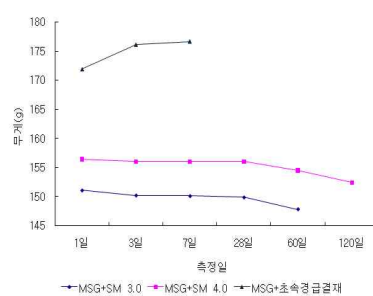
사진 2. 규산계 SM 4.0 시편상태(28일)

표 8. 2배수 인공해수 침적 조건의 시험 data

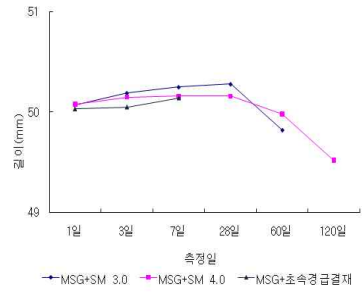
사용재료		일자별 특성치																		
주입재	급결재	압축강도(MPa)						중량변화(g)						길이변화(mm)						
		1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일	1일	3일	7일	28일	60일	120일	
A액	B액																			
	MSG	SM 3.0	0.06	0.19	0.60	1.02	0.82	측불	151.1	150.2	150.1	149.9	147.8	측불	50.07	50.19	51.12	51.13	49.82	측불
	SM 4.0	0.08	0.62	1.19	1.85	1.75	1.32	156.4	156.0	156.0	156.0	154.5	152.4	50.08	50.15	50.16	50.16	49.98	49.52	
	초속경 급결재	0.70	1.44	2.23	측불	측불	측불	171.9	176.1	176.7	측불	측불	측불	50.03	50.05	50.14	측불	측불	측불	



압축강도 결과



중량변화 결과



길이변화 결과

그림 6. 2배수 인공해수 침적 조건의 특성치 경향

생되는 것을 보였다.

5. 결 론

해수환경에서 주입공사를 해야 하는 경우 내해수성이 강한 주입재 조합을 선정하기 위해서 이론적인 화학적 반응기구 검토와 실험적 연구결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 본 논문에서는 분말도 $8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 이상의 고분말 포틀랜드시멘트와 고로슬래그 미분말을 혼합하여 C_3A 광물 함유량이 5% 이하로 KS 공업규격에 적합하도록 조정된 내해수성 주입 시멘트로 MSG를 선정하였다.
- (2) 실험용 급결재는 초속경시멘트계와 고물비 규산계 SM4.0과 현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 규산계 SM3.3을 선정하고 MSG와 조합된 호몰겔 시편을 제작하여 재령별로 압축강도 및 중량변화, 길이변화 등의 특성치 경향을 검토한 결과
 - 1) 담수 침적 조건에서는 4개월 정도의 장기재령까지 압축강도가 증가하고, 중량감소 및 길이변화 등 변형에 대한 저항성이 안정함을 확인할 수 있었다.
 - 2) 인공해수 침적 조건에서는 초속경시멘트계 급결재를 조합한 경우 7일 재령 이후 강도를 측정할 수 없을 정도로 호몰겔 시편이 팽창 파괴되는 것이 확인되었고, 규산계 급결재가 조합된 경우도 1달 이후부터 중량감소 및 수축변형에 대한 저항성이 저하되는 경향을 보이고 있으며, 이러한 경향은 인공해수의 농도가 높을수록, 규산의 물비가 작을수록 악화됨을 나타내고 있다.
- (3) 상기의 실험적 경향과 그림 1의 해수환경에서 시멘트 수화물의 부식반응 메카니즘과는 일치되고 있다.

- (4) 따라서, 본 논문의 실험결과로부터 내해수성 주입재의 조합은 MSG와 같은 내해수성 시멘트와 규산계 SM4.0과 같은 고효성 급결재를 적용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 내해수성 평가 시험은 ‘건설교통부의 2005년 건설핵심기술연구개발사업의 연구지원(05건설핵심 D10-01 해저시설물 차폐기술 연구단)’에 의해서 수행된 것으로 본 시험을 지원하여 주신 관계기관에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김진춘 (1999), *지반개량용 초미립자시멘트의 주입특성에 관한 연구*, 박사학위논문, 한양대학교, pp. 10~12.
2. 문한영, 이승태, 김홍삼, 김진철 (2000), 시멘트 모르타르의 황산염 및 해수침식에 대한 저항성, *대한토목학회 논문집*, Vol. 20, No. 3-a, pp. 473~482.
3. 문한영, 이승태, 김홍삼 (2001), 시멘트 경화체의 해수침식에 의한 성능저하 및 저항성 평가, *한국콘크리트학회 논문집*, Vol. 13, No. 2, pp. 175~183.
4. 서울시 (1996), *지반보강편람 - 주입공법 중삼*, pp. 17~38.
5. 윤의식, 이택우, 박승범 (2005), 시멘트의 종류별 콘크리트의 역학적 특성 및 내해수성 평가에 관한 실험적 연구, *대한토목학회 논문집*, Vol. 25, No. 5A, pp. 931~937.
6. 천병식 (1998), *최신지반주입 - 이론과 실제*, 원기술, pp. 45~46.
7. 한국지오택 (2006), *해저시설물 차폐기술 개발 중 그라우팅 설계기술개발 3차년도 보고서*, 건설핵심 D10-01, 건설교통부, pp. 4~9.
8. 米倉 亮三, 島田 俊介, 大野 康年 (2007), *恒久グラウト・本設注入工法; 薬液注入の耐久性と耐震補強の設計施工*, 山海堂, 東京, pp. 7~81.

(접수일: 2009. 10. 14 심사일: 2009. 10. 22 심사완료일: 2009. 11. 30)