無機質 混和材를 使用한 모르터의 水密特性에 관한 硏究

朴 相 俊
〈(주)대우건설기술연구소, 주임연구원〉

1. 서 론

다양한 건설재료를 사용하여 완성되어지고 있는 철근콘크리트 구조물에 있어서 시공자 및 사용자에게 부딪치는 어려운 하자문제중의 하나가 방수 혹은 누수에 대한 대책 마련이라 할 수 있다. 이미 수많은 건설구조물에서 누수사고가 발생하였고, 이로 인한 경제적 손실도 적지 않았음을 경험하였지만, 현재까지도 이와 같은 문제는 여전히 되풀이되고 있는 실정이다.

방수란 콘크리트 구조물에 물이 통과하거나 스며들지 못하게 차단하는 것을 말하는데, 콘크리트 구조물이 방수성능 결함으로 누수 되는 경우에는 압축강도 저하나 동결융해 저항성, 화학적 침식에 대한 저항성 등이 크게 저하되어 구조물의 수명을 단축시키게 된다. 특히, 건축구조물의 경우는 미관손상과 생활공간으로서의 거주성도 크게 저하시켜 경제적으로도 큰 손실을 가져오게 된다. 이러한 방수성능의 결함에는 수많은 원인이 있겠으나, 그 중 가장 큰 원인이라 할 수 있는 것이 콘크리트 자체의 기본성질을 충분히 고려하지 않았거나, 정밀한 시공기술이 뒷받침되지 못한 상태에서 각종 방수재료나 공법자체에만 의존하고 있는 것이라 할 수 있다. 즉, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 최근에는 마감모르터나 콘크리트 구조체 자체에 높은 수밀성을 부여함으로서, 투수 및 흡수성을 현저히 감소시키는 방수공법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 CSA계 팽창재, 실리카흄 및 스테아린산 아연 등의 무기질 혼화재를 일정비율로 혼합한 시멘트 모르터의 기초성상 및 수밀성 등을 평가함으로서, 구체방수용 수밀콘크리트의 제조에 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 콘크리트의 수밀특성

콘크리트 구조물의 수밀성은 시멘트 및 골재 등의 재료특성과 시공방법에 따라 크게 좌우되는데, 일반적으로 콘크리트의 흡수성과

투수성(water & vapour permeability)으로 나누어 생각할 수 있다.

2.1 콘크리트의 흡수(absorption ability)

(1) 모세관 흡수

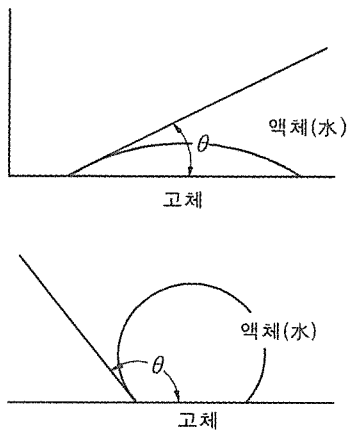
콘크리트에 있어서 모세관 흡수란 물과 직접적으로 접촉되어 있는 부분에서 구조물에 상당히 많은 양의 물이 신속하게 흡수되는 현상으로, 콘크리트 구조물의 흡수성은 모세관의 직경에 따라서 크게 변한다. 즉, 초기흡수속도는 모세관 반경에 비례하여 증가하나, 흡수깊이는 모세관 반경에 반비례하며, 다음과 같은 방정식으로 표현할 수 있다.

$$H = 2\sigma\cos\theta / r \cdot p \cdot g$$

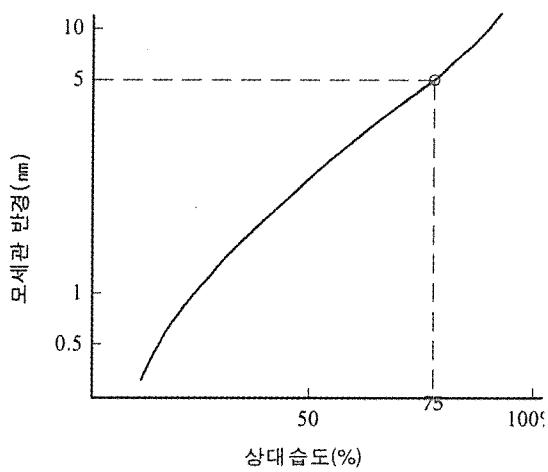
여기서, H = 흡수된 모세관 깊이(m)
σ = 액체의 표면장력 (Nm^{-1})
θ = 접 촉 각
r = 모세관의 반경(m)
p = 액체의 밀도(kg/m^3)
g = 중력가속도 (m/s^2)

이 방정식에서 표면장력, 중력가속도, 액체의 밀도는 일정하다고 가정할 수 있으므로 콘크리트의 흡수성은 단지 모세관의 반경과 접촉각에 의해서 좌우됨을 알 수 있다. 따라서 콘크리트의 흡수성을 감소시키기 위해서는 모세관의 반경을 증가시키거나 접촉각을 크게 하는 방법을 생각할 수 있는데, 콘크리트의 매질에 형성된 모세관의 반경을 증가시키면 투수성이 증가하게 되므로 실질적으로 콘크리트의 흡수성을 감소시키는 방법은 〔그림 1〕에서와 같이 콘크리트 매질과 용액의 접촉각을 증가시키는 방법이 강구되고 있다.

즉, 모르터 및 콘크리트에 적당한 방수처리



〔그림 1〕 발수성에 의한 접촉각의 변화



〔그림 2〕 상대습도와 모세관 반경과의 관계

를 하여 콘크리트 매질과 물의 접촉각(θ)을 90° 이상 증가시키면 $\cos\theta$값이 음(-)값을 갖게 되며, 콘크리트 매질은 강한 발수성을 나타내게 되므로 콘크리트의 흡수성을 현격히 감소시킬 수 있다.

(2) 응축수에 의한 흡수

모세관에서는 대기중에서 보다 포화증기압이 일찍 도달하게 되므로 응축이 빨리 일어나게 되는데, 이러한 응축현상에 대하여 Kelvin은 〔그림 2〕와 같다고 발표하였다. 즉, 반경이

5nm정도가 되는 모세관의 응축현상은 대기중의 상대습도가 75%일 때 일어나며, 이는 모르터나 콘크리트내에 존재하는 공극의 크기 및 양에 의존한다고 주장하였다.

(3) 흡수성 물질에 의한 흡수

〔표 1〕에서와 같이 구조물에 사용되는 각종 재료에 흡수성이 강한 각종 염이 함유되어 있을 경우 흡수량은 증가하게 되는데, 이러한 염들에 의해서 일어나는 흡수현상은 상대습도와 각종 염의 형태 및 양에 따라 크게 좌우된다.

〔표 1〕 상대습도와 시간에 따른 염의 흡수

염의 종류	염의 함유량 (mg/g)	상대습도와 시간에 따른 흡수율(%wt)			
		20일			180일
		상대습도 65%	상대습도 97%	상대습도 86%	상대습도 83%
Nacl	29	1.0	9.3	5.5	-
	43	-	11.1	6.2	13.2
$MgSO_4$	55	2.3	4.1	3.1	4.5
	28	1.3	2.2	1.8	2.9
$Ca(NO_3)_2$	82	5.1	10.8	-	-
	107	5.2	12.1	9.4	12.5

(4) 콘크리트의 흡수성

절대건조상태의 콘크리트가 물과 접하게 되면 처음에는 급속히 흡수하지만 시간이 지남에 따라 흡수속도는 점점 늦어진다. 즉, 보통 콘크리트에서는 중량비로 약 10%, 용적비로 약 20%의 흡수율을 나타내게 되는데, 이러한 흡수율의 대부분인 90%정도가 초기 10~24시간 사이에 일어나고, 이후 1~2일에는 매우 작은양이 흡수된다.

각종 콘크리트의 흡수율을 정리해 보면 대체적으로 〔표 2〕와 같이 되는데, 이러한 콘크리트의 흡수율은 사용골재의 치수가 작아질수록 커지게 된다. 이는 골재 치수가 작을수록 콘크리트 속의 공극량이 증가하기 때문이다. 또 골재에서 잔골재가 많아질수록 흡수율은 커지는데, 이는 공극이 잔골재에 의해 잘 분산되기 때문이다. 이러한 이유로, 골재의 치수가 작고, 잔골재가 많은 모르터의 흡수율은 콘크리트보다도 커지게 되는 것이다.

단위시멘트량은 시멘트량이 변화해도 흡수율은 그다지 차이가 나지 않는다. 그러나, 일반적으로는 단위시멘트량이 적고, W/C가 증가할수록 흡수율은 증가하는 경향이 있다.

2.2 콘크리트의 투수(water and vapour permeability)

콘크리트의 흡수는 주로 수압이 걸려있지 않은 상태에서 구조물에 물이 스며드는 성질인데,반해 콘크리트의 투수성(투기성)은 구조물의 외측에 형성되어 있는 용액 혹은 가스들의 압력구배, 농도차이, 삼투효과 등에 의해서 각종 용액 혹은 가스들이 콘크리트 재질을 통과하는 성질을 말한다.

따라서, 콘크리트의 투수성은 콘크리트 매질내에 형성되어 있는 기공(void+pore)과 밀접한 관계가 있으며, 이러한 기공들은 콘크리트의 불완전한 다짐 혹은 블리딩 현상이나, 콘크리트 배합시에 투입되는 과잉수(시멘트 수화에 필요한 이론수량 이상의 물)에 의해 주로 형성되며, 일반적으로 콘크리트 전 부피의

〔표 2〕 각종 콘크리트의 흡수율

골재	잔골재	강모래	강모래	인공경량골재	강모래	강모래 모르터	기포콘크리트
	굵은골재	강자갈	인공경량골재	인공경량골재	경석		
용적 흡수율(%)		15~20	18~22	20~25	25~40	20~25	35~50
비 중		2.41	1.86	1.66	1.86	2.2	0.6~0.8

1~10%를 차지한다.

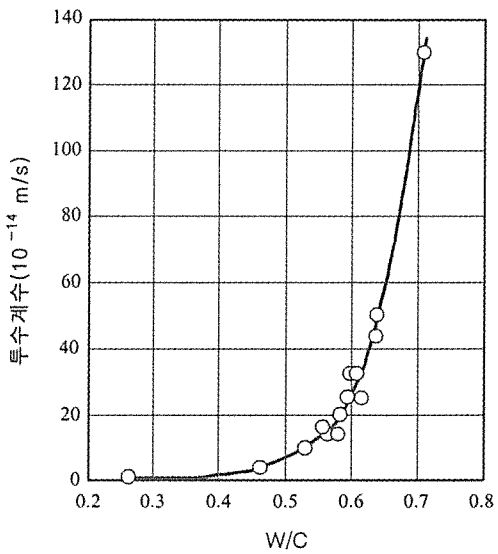
콘크리트내에 형성되는 각종 기공은 먼저, 불완전한 다짐이나 블리딩 현상에 의해 형성되는 대기공(void)과 시멘트의 수화반응이 진행됨에 따라 과잉의 물에 의해서 형성된 0.05~1.0㎛ 정도의 크기를 갖는 공극(pore)으로 구분할 수 있는데, 공극은 다시 겔 공극(gel pore)과 모세관 공극(capillary pore)으로 구분된다.

전 기공 중에서 겔공극은 28% 정도를 차지하지만 겔 공극의 투수계수는 단지 약 7×10^{-16}m/s 정도로서 극히 낮으므로 콘크리트의 투수성에는 큰 영향을 미치지 않는 반면, W/C와 시멘트의 수화반응 정도에 따라 전 기공의 0~40% 정도를 차지하는 모세관 공극이나 콘크리트의 작업성과 다짐도에 따라 전체 기공의 30~70%를 차지하는 대기공은 시멘트 경화체의 투수성에 결정적인 영향을 주게 된다.

콘크리트의 투수성은 이와 같은 각종 기공들의 크기뿐만 아니라 다음과 같은 인자들에 의해서도 결정적으로 좌우된다.

- 연결된 기공들의 수
- 기공들의 직경
- 기공들의 굴곡도
- 경화체 내에 균열의 존재여부
- 구조물 외측에서 작용하는 수압 및 상대습도 차

따라서, Darcy는 다음과 같은 방정식으로 투수계수(K)를 사용하여 콘크리트의 투수성을 나타내었는데, 일반적으로 콘크리트의 투수성은 시멘트의 수화반응이 진행됨에 따라 감소하고, W/C가 증가함에 따라 [그림 3]에서와 같이 크게 증가하며, 시멘트량이 많은 부배합의 콘크리트일수록 감소한다고 보고하고 있다.



[그림 3] W/C가 시멘트 페이스의 투수성에 미치는 영향

$$\frac{dq}{dt}\cdot\frac{1}{A}=K\frac{\Delta h}{L}$$

여기서,

dq / dt : 액체의 흐름 속도 (m^3/s)

A : 시료의 단면적 (m^2)

Δh : 수두의 높이차(수압차)(m)

L : 시료의 두께 (m)

K : 투수계수 (m/s)

3. 콘크리트의 수밀성 개선방안

3.1 콘크리트 수밀성의 중요성

콘크리트 구조물의 수밀성은 콘크리트 수조, 도수로, 댐, 지하 및 옥상구조물 등 뿐만아니라, 일반 구조물에서도 백화현상(efflorescence)을 감소시키고, 중성화(carbonation)를 방지하며, 내후성 · 내약품성 등을 향상시키기 위해 필연적으로 요구되는 성질이다.

특히, 산업이 발달함에 따라 해양구조물 및 방사능 폐기물 처리 · 처분시설 등과 같이 높

은 수밀성이 요구되는 고내구성 특수구조물의 수요가 급증함에 따라 콘크리트의 방수성은 더한층 강조되고 있는데, 이러한 콘크리트 구조물에 각종 용액 혹은 유해가스가 흡수되거나, 투과됨으로서 야기되는 콘크리트의 피해현상들은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 동결융해에 의한 열화
- 체적 팽창성 각종 염 형성에 의한 파괴
- 부식에 의한 화학적인 파괴
- 백화현상에 의한 미관불량
- 생물학적인 부식 및 미관손상

3.2 수밀성 콘크리트의 제조방법

콘크리트 구조물의 수밀성 향상을 목적으로 현행, 일반적으로 알려져 있는 콘크리트 배합설계상의 요건들을 정리하면 다음과 같다.

- W/C를 가능한 적게 한다.
- W/C가 일정한 경우에는 가능한 부배합을 사용한다.
- 반응성 콘크리트용 무기질 혼화재를 사용한다.
- 양생도중 콘크리트 구조물에 충격을 주지 않는다.
- 콘크리트를 충분히 다져 조직을 치밀화한다.
- 흡수율이 작은 골재를 사용한다.
- 굵은 골재의 최대크기는 가능한 큰 것을 사용한다.
- 장기간 습윤양생 하고, 건조균열을 방지한다.
- 충분히 두꺼운 부재를 사용한다.
- 방수제, 팽창재 등과 같은 혼화재를 적절히 사용한다.
- 적용 콘크리트 구조물의 특성에 따라 적당한 방수공법을 활용한다.

4. 실험개요

4.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 〔표 3〕과 같다. 즉, 배합사항으로 먼저, 모르터의 배합비와 W/B(%)는 실무에서 일반적으로 이용되고 있는 1 : 3과 50%인 1개 수준으로 하였으며, 방수성능을 향상시킬 수 있을 것으로 예상되는 혼화재 종류로는 CSA계 팽창재(EA), 실리카흄(SF) 및 스테아린산 아연(ZS)를 사용하는 3개 수준으로 하였다. 혼화재의 혼입율로 CSA계 팽창재 및 실리카흄의 경우는 0%, 5%, 10%, 스테아린산 아연은 0% 2.5%, 5%씩 혼합하는 것으로 계획하였다.

실험사항으로 먼저, 굳지 않은 상태에서는 유동성, 공기량 및 단위용적중량 등을 측정하였고, 경화상태의 강도특성은 압축 및 휨 강도를 7, 28 및 91일 재령에서 측정하였다. 한편, 무기질 혼화재를 사용한 모르터의 수밀성을 평가하기 위한 투수량은 21일과 91일 재령에서 측정하였고, 흡수량은 21일 재령에서만 측정하였다.

4.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜트 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 비중 2.59의 강모래를 사용하였는데, 물리적 성질 및 입도곡선은 〔표 5〕 및 〔그림 4〕와 같다.

혼화재료로서 팽창재는 국내 J사에서 생산되는 CSA계 팽창재, 실리카흄은 노르웨이산, 스테아린산 아연은 비중이 0.2인 국내 S사의 제품을 사용하였는데, 각각의 물리적 성질 및 화학성분은 〔표 6〕, 〔표 7〕, 〔표 8〕과 같다.

〔표 3〕 실험계획 및 배합

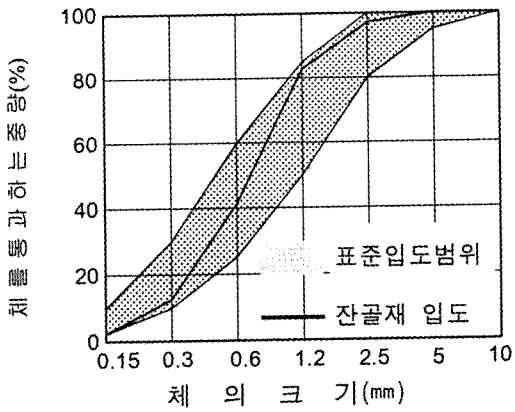
배합비	W/B (%)	EA (%)	SF (%)	ZS (%)	W (kg/m³)	용적배합(l /m³)					중량배합(kg/m³)				
						C	S	EA	SF	ZS	C	S	EA	SF	ZS
1:3	50	0	0	0	251	159	580	0	0	0	501	1503	0	0	0
				2.5	237	146	548	0	0	59	461	1419	0	0	12
				5	224	135	519	0	0	112	426	1344	0	0	22
			5	0	250	151	578	0	11	0	475	1499	0	25	0
				2.5	236	138	546	0	11	59	436	1415	0	24	12
				5	223	127	517	0	11	112	402	1340	0	22	22
			10	0	249	142	577	0	22	0	448	1493	0	50	0
				2.5	235	130	544	0	22	59	411	1410	0	47	12
				5	223	119	514	0	22	112	378	1335	0	45	22
		5	0	0	250	151	578	11	0	0	474	1497	25	0	0
				2.5	236	138	546	11	0	59	436	1414	24	0	12
				5	223	127	517	11	0	112	402	1340	22	0	22
			5	0	249	142	577	11	11	0	448	1493	25	25	0
				2.5	235	130	544	11	11	59	411	1409	23	23	12
				5	223	119	514	11	11	112	378	1335	22	22	22
			10	0	248	134	575	11	22	0	421	1487	25	50	0
				2.5	234	122	542	11	22	59	386	1404	23	47	12
				5	222	112	511	11	22	112	355	1331	22	44	22
		10	0	0	249	142	577	22	0	0	447	1491	50	0	0
				2.5	235	130	544	22	0	59	411	1409	47	0	12
				5	223	119	514	22	0	112	378	1335	45	0	22
			5	0	248	134	575	22	11	0	421	1487	50	25	0
				2.5	234	122	542	22	11	59	386	1404	47	23	12
				5	222	111	512	22	11	112	355	1331	44	22	22
			10	0	247	127	572	22	22	0	395	1481	49	49	0
				2.5	233	114	540	22	22	59	362	1400	47	47	12
				5	221	103	510	22	22	112	332	1326	44	44	22

〔표 4〕 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도(㎠/g)	안정도(%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/㎠)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,415	0.06	236	340	244	303	389

〔표 5〕 잔골재의 물리적 성질

골재종류	비중	조립율(F.M)	흡수율(%)	단위용적중량(kg/㎥)	입형판정실적율(%)	No.200체 통과율(%)
강모래	2.59	2.64	1.46	1,598	61.0	2.06



〔그림 4〕 잔골재의 입도곡선

4.3 실험방법

실험방법으로 먼저, 모르터의 혼합은 KS L 5109에 따라 실시하였고, 모르터의 플로우 시험은 KS L 5105, 공기량 및 단위용적중량 시험은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다.

압축 및 휨 강도 시험용 공시체는 ASTM C 348의 규정에 의거 4×4×16㎝의 크기로 제작하였으며, 강도시험으로 압축강도는 KS F 2413, 휨 강도는 ASTM C 348의 규정에 의거 실시하였다.

〔표 6〕 팽창재의 화학적 성질(%)

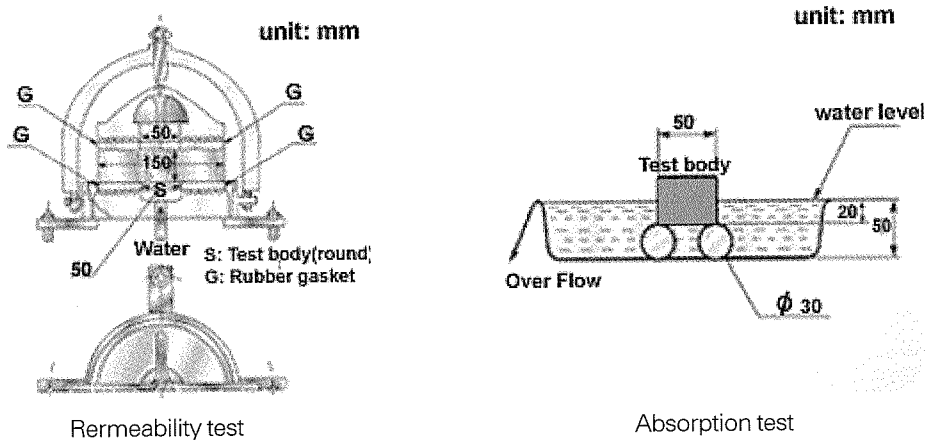
CaO	Al_2O_3	SO_3	MgO	Fe_2O_3	R_2O	SiO_2	lg.loss	Total	f-CaO
46.54	14.92	32.27	0.17	0.78	0.14	4.01	1.05	99.88	15.90

〔표 7〕 실리카흄의 물리적 성질 및 화학적 성분

비중	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	MgO	Na_2O	Ig.loss
2.2	90.16	0.77	1.72	0.32	1.25	1.06	0.36	2.29

〔표 8〕 스테아린산 아연의 물리적 성질 및 화학성분

비중	외 관	Zn함유량(%)	수 분(%)	유리산(%)	융 점(℃)	325mesh 통과량(%)
0.2	백 색 미분말	11.0	0.5	0.5	120	99이상



〔그림 5〕 모르터의 투수 및 흡수 시험장치

〔표 9〕 무기질 혼화재를 혼합한 모르터의 실험결과

EA (%)	SF (%)	ZS (%)	굳지않은 상태			경 화 상 태										
			플로우 (㎜)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m³)	압축강도(kgf/㎠)			휨 강도(kgf/㎠)			투수량(g)		흡수량(g)		
						7일	28일	91일	7일	28일	91일	21일	91일	1시간	5시간	24시간
0	0	0	155.8	8.9	2,037	292	350	448	50	59	61	31	16	31	44	44
		2.5	145.7	6.2	2,077	256	289	374	43	47	52	6	7	3	4	7
		5	137.5	6.2	2,076	221	290	406	41	53	45	3	5	2	3	5
	5	0	148.3	8.4	2,041	258	394	461	50	64	66	14	16	26	37	40
		2.5	139.3	6.1	2,084	242	298	414	48	61	62	6	6	2	5	8
		5	139.1	6.8	2,021	203	347	435	49	60	61	4	4	2	3	5
	10	0	154.3	8.3	2,040	238	418	497	47	65	68	18	16	20	28	34
		2.5	135.5	6.4	2,063	239	358	464	52	60	64	12	6	3	5	8
		5	130.3	6.7	2,022	197	340	469	43	62	68	6	5	2	3	5
5	0	0	149.3	9.8	2,030	258	264	401	44	48	53	37	24	29	42	43
		2.5	140.9	6.4	2,071	275	287	462	53	55	62	5	6	3	5	7
		5	140.2	6.4	2,064	258	302	371	48	52	60	4	3	3	4	6
	5	0	165.5	9.6	2,001	269	279	468	46	65	70	22	21	25	35	38
		2.5	145.8	6.3	2,061	274	354	480	46	62	66	6	5	4	6	9
		5	143.9	6.6	2,041	229	290	410	44	52	68	4	4	3	4	7
	10	0	157.8	9.2	2,027	271	317	469	46	69	87	31	17	18	24	27
		2.5	134.0	6.5	2,054	270	365	506	44	64	79	9	10	4	5	8
		5	129.4	6.1	2,050	191	343	403	45	59	73	6	6	3	4	6
10	0	0	172.3	10.1	2,014	163	321	420	26	53	56	37	18	37	47	49
		2.5	147.0	6.7	2,076	208	303	420	30	45	57	8	8	3	5	8
		5	138.7	6.3	2,053	166	270	329	28	42	59	4	4	2	3	6
	5	0	175.0	10.5	1,989	153	322	478	25	58	70	29	21	30	43	47
		2.5	153.0	6.9	2,037	205	320	449	30	55	75	7	9	3	5	8
		5	137.2	6.8	2,024	150	312	440	28	50	74	4	9	2	3	5
	10	0	169.8	8.3	2,043	144	376	463	29	63	72	25	29	22	30	35
		2.5	141.7	7.0	2,034	189	336	477	29	54	80	10	7	3	6	8
		5	138.2	6.7	2,018	141	304	426	26	56	74	6	7	2	4	5

한편, 투수 및 흡수시험은 KS F 2451(건축용 시멘트 방수제의 시험방법)의 규정에 의거 〔그림 5〕와 같은 시험장치를 이용하여 실시하였는데, 투수시험은 재령 21일과 91일에서, 흡수시험은 재령 21일에서 각 시간대별로(1시간, 5시간, 24시간) 구분하여 측정하였다.

5. 실험결과 및 분석

본 연구의 굳지 않은 모르터 및 경화 모르터의 실험결과는 〔표 9〕와 같다.

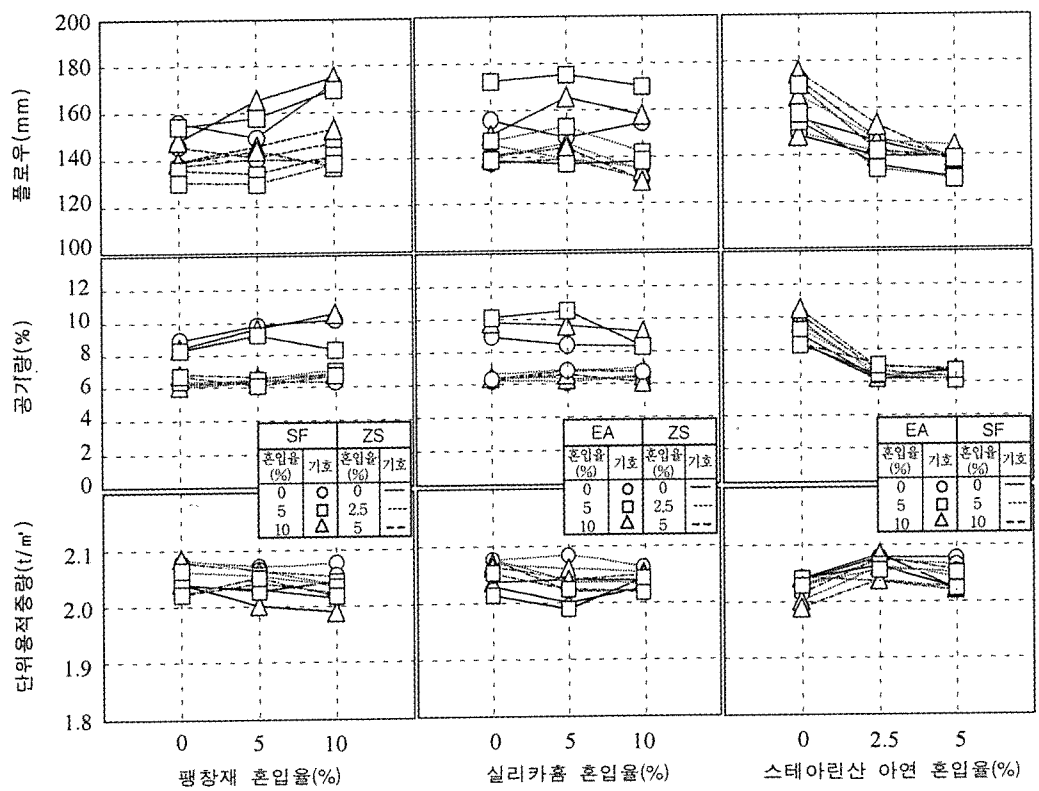
5.1 굳지 않은 모르터의 특성

〔그림 6〕은 팽창재, 실리카흄 및 스테아린산 아연의 혼입율 변화에 따른 모르터의 굳지 않은 상태 특성을 나타낸 것이다.

먼저, 팽창재를 혼입한 경우는 팽창재의 혼입율이 증가할수록 플로우 및 공기량은 증가하고, 단위용적중량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 팽창재가 수화반응 초기에 급격히 반응하여 침상의 에트린가이트를 생성함으로서 유동성을 저하시키는 특성을 가지고 있기 때문에 이를 보상할 목적으로 첨가된 미량의 유동화 성분에 기인한 결과로 분석된다.

실리카흄을 혼입한 경우는 혼입율이 증가함에 따라 플로우가 미분말의 증가로 점성이 증가되어 미소하게나마 감소하는 경향으로 나타났고, 공기량은 거의 변화가 없거나, 미분말의 공극충전효과에 기인하여 약간 감소하였다. 단위용적중량은 실리카흄의 비중이 2.2로 시멘트의 3.15보다 작은 것에 기인하여 다소 작아지는 것으로 나타났다.

한편, 스테아린산 아연을 혼입한 경우는 혼입율이 증가할수록 플로우와 공기량은 감소하였고, 반대로 단위용적중량은 증가하는 것으로 나타났는데 특히, 혼입율 0~2.5%범위에서 크게 변화하는 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트의 수밀성 향상을 목적으로 스테아린산 아연을 사용할 경우 굳지 않은 상태에서 시공성이 크게 저하되는 문제점이 있는 것으로 분석되었는데, 이러한 결과는 경화상태 모르터의 수밀성 저하에도 큰 영향으로 작용할 수 있기 때문에 이를 해결하기 위한 적절한 대책이



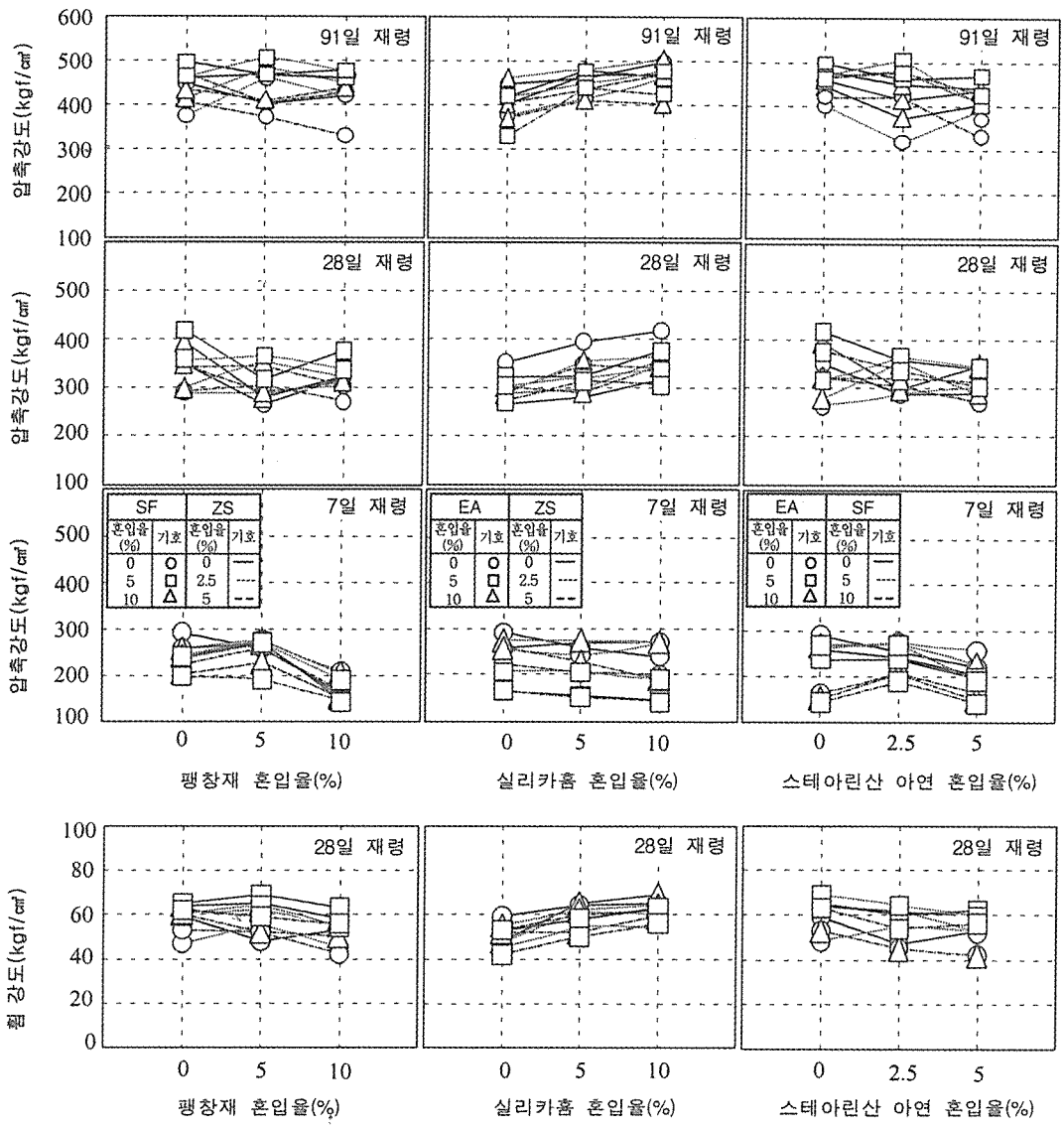
〔그림 6〕 혼화재 종류 및 혼입율 변화에 따른 굳지 않은 상태 특성

요구되어진다.

따라서, 모르터나 콘크리트내에서 각 재료의 분산성을 향상시키는 효과와 함께 경제적인 측면에서도 유리할 것으로 예상되는 규사(silica sand : SiO_2)등을 일정비율로 혼합하여 사용하거나 적정의 유동화제를 사용하는 방안, 그리고 이를 복합으로 사용하는 방안 등에 대해서도 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

5.2 강도특성

〔그림 7〕은 강도특성을 각 재령별로 구분하여 나타낸 것이다. 먼저, 팽창재를 혼입한 경



〔그림 7〕 경화상태 강도특성

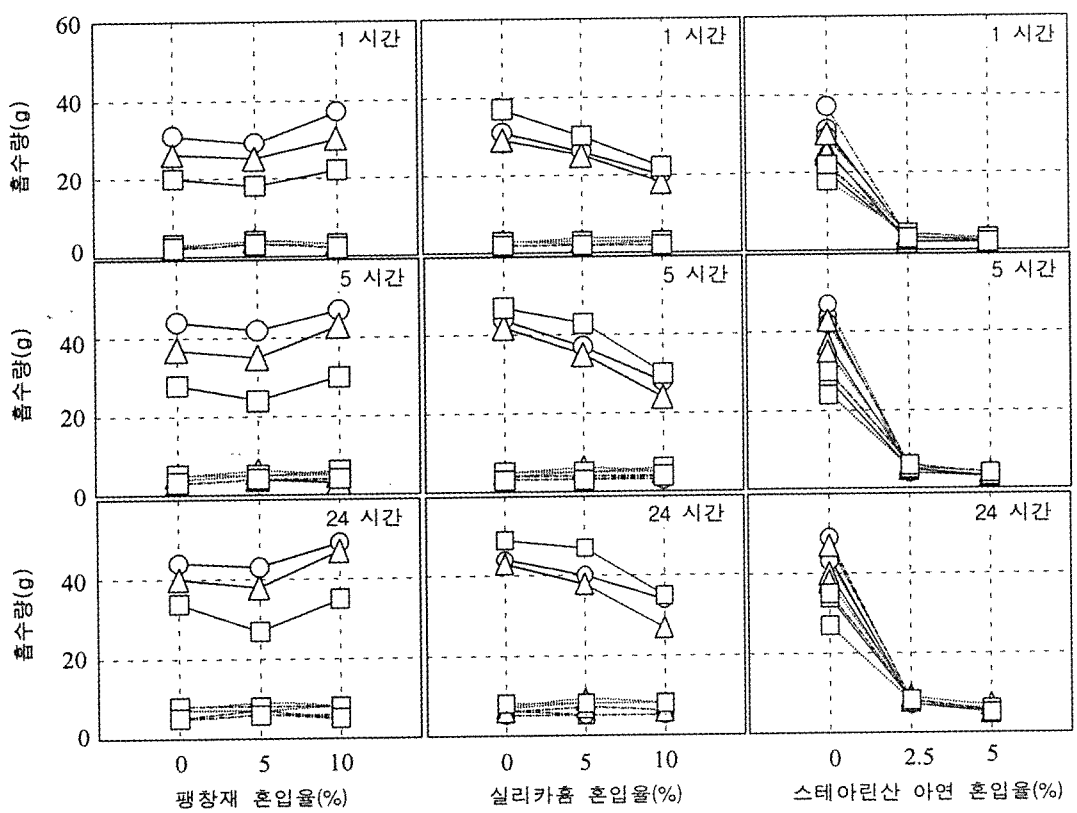
우의 압축강도는 혼입하지 않은 모르터에 비해 재령 7일이고, 혼입율 10%인 경우에서 평균 29%정도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 재령이 28일과 91일로 경과함에 따라 강도는 점차로 회복되는 것으로 나타났는데, 이는 팽창재의 에트링가이드 생성에 기인된 결과로 분석된다.

한편, 실리카흄을 혼입한 경우의 압축강도는 혼입율이 증가할수록 재령 7일에서는 다소 감소하나, 재령 28일과 91일에서는 실리카흄이 시멘트의 수화물인 수산화칼슘[$Ca(OH_2)$]과 지속적으로 반응하여 불용성의 규산칼슘($CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$) 수화물을 생성하는 포졸란 반응에 기인하여 크게 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구범위에서 실리카흄을 혼입하지 않은 모르터에 비해 실리카흄을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령 91일이고, 실리카흄의 혼입율이 5%인 경우, 평균 10%정도, 혼입율이 10%인 경우는 평균 13%정도 증가하는 것으로 나타났다.

휨 강도의 경우도 압축강도와 유사한 결과로,팽창재를 혼입한 경우는 혼입율이 증가할수록 감소하는 반면, 실리카흄을 10% 혼입한 경우는 혼합하지 않은 경우에 비하여 재령 28일에서 약 18%정도까지 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 스테아린산 아연을 혼입한 경우는 혼입율이 증가함에 따라 스테아린산 아연의 발수작용 및 단위시멘트량의 감소 등의 요인이 복



〔그림 8〕 혼화재 종류 및 혼입율 변화에 따른 흡수특성

합적 작용하여 압축 및 휨 강도는 감소하였다.

5.3 수밀특성

〔그림 8〕은 혼화재 종류 및 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르터의 흡수량 실험결과를 나타낸 것이다.

당연한 결과로, 시간이 경과함에 따라 흡수량은 증가하는 것으로 나타났는데 특히, 팽창재를 혼입한 경우는 침상결정의 에트린가이트 생성에 기인한 조직이완으로 흡수량이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 실리카흄과 스테아린산 아연을 사용한 경우에서는 반대로 감소하였는데 특히, 스테아린산 아연의 혼입율 2.5% 이상에서 현저히 낮아지는 것으로 나타났다.

따라서, 수밀성이 우수한 모르터를 제조하기 위한 혼화재료의 종류로는 침상결정의 에트린가이트를 생성하는 팽창재보다는 실리카흄의 공극충전효과 및 포졸란 반응, 스테아린산 아연의 발수작용 등을 활용하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있었다.

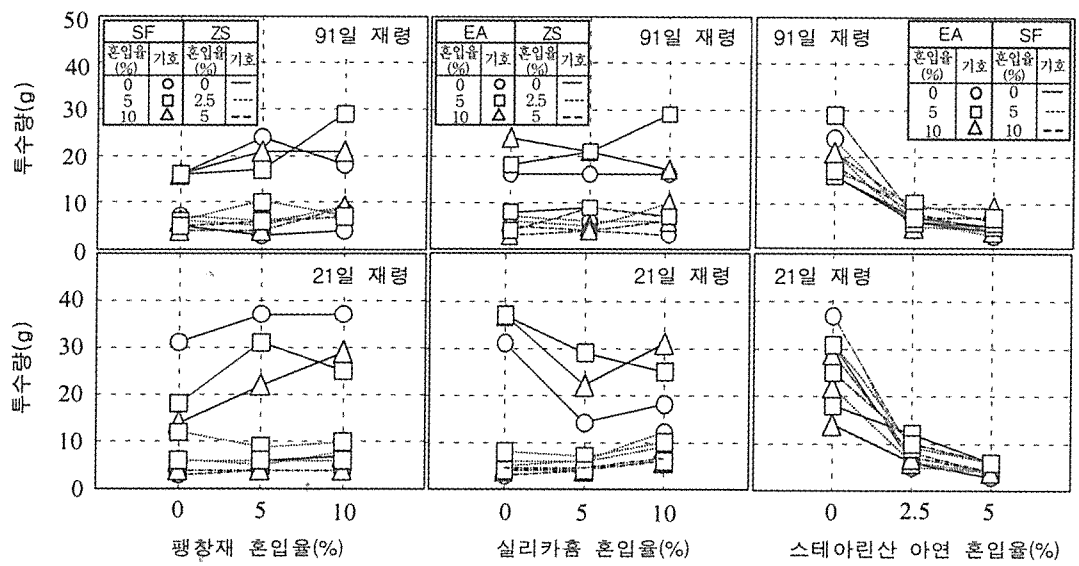
〔그림 9〕는 〔그림 8〕과 동일한 요령으로 투수량 실험결과를 나타낸 것이다.

즉, 팽창재를 혼입한 경우 혼입율이 증가함에 따라 흡수량 시험결과와 유사한 경향으로 투수량은 증가하는 것으로 나타났는데 특히, 91일 재령이고, 혼입율이 5%인 경우 기존 이론과는 달리 팽창재를 혼입하지 않은 모르터에 비하여 최고 1.5배, 혼입율 10%인 경우는 최고 1.8배까지 증가하는 것으로 나타났다.

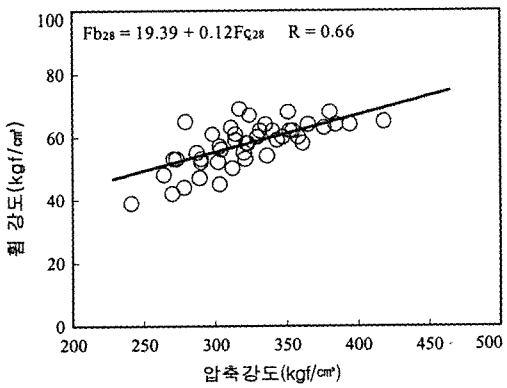
따라서, 팽창재의 팽창성이 모르터나 콘크리트에 작용하여 균열을 억제하는 측면에서는 효과적일 수 있으나, 에트링가이트의 생성에 따른 조직이완으로 수밀성에는 불리하게 작용하는 것으로 분석되었다.

실리카흄을 혼입한 경우는 재령 21일에서 실리카흄의 혼입율이 증가할수록 실리카흄의 공극충전 효과에 기인하여 약간 감소하는 경향이었으나, 재령 91일에서는 거의 변화가 없거나 미소하게 감소하는 것으로 나타났다.

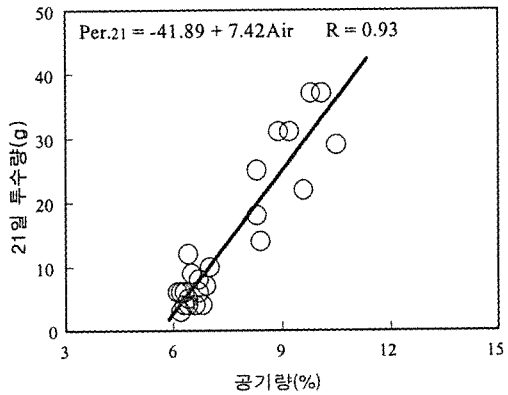
한편, 스테아린산 아연을 혼입한 경우는 혼



〔그림 9〕 혼화재 종류 및 혼입율 변화에 따른 투수특성



〔그림 10〕 압축강도와 휨 강도간의 상호관계



〔그림 11〕 공기량의 투수량간의 상호관계

입율 2.5%이상에서 투수성이 급격히 감소하는 것으로 나타났는데, 특히, 재령 91일이고, 혼입율 2.5%인 경우는 평균 투수량이 7.1g으로서 스테아린산 아연을 혼입하지 않은 모르터에 비해 평균 36.2%정도 낮아지는 것으로 나타났다. 단, 혼입율 5%인 경우는 혼입율 2.5%보다 작아지는 경향이기는 하나 그 차이는 크지 않았다.

5.4 상호관계

〔그림 10〕은 각종 무기질 혼화재를 복합적으로 사용한 모르터의 압축강도와 휨 강도간의 상호관계를 분석하기 위하여 무기질 혼화재의 종류나 첨가량 변화에 따른 구분 없이 산점도로나타낸 것이다.

분석결과, 휨 강도는 압축강도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였는데, 본 연구범위에서 휨 강도는 압축강도의 1/5.4정도인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일반콘크리트의 휨 강도와 압축강도의 비가 1/5~1/7범위인 것과 비교하여 볼 때 유사한 결과인 것이다.

〔그림 11〕은 무기질 혼화재를 혼입한 모르터의 수밀성에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되는 굳지 않은 모르터의 공기량과 21일 재령에서 측정한 투수량간의 상호관계를 분석하기 위하여 〔그림 7〕과 동일한 요령으로 나타낸 것이다.

즉, 공기량이 증가할수록 투수량도 비례하여 증가하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 모르터나 콘크리트의 투수성이 조직내에 형성되어 있는 각종 기공들과 밀접한 관계가 있다는 것을 시사하고 있는 것이다.

한편, 본 연구범위에서는 모르터의 공기량 1% 증가시 투수량이 약 74%정도 증가하는 것으로 나타났으며, 상관회귀식과 결정계수는 그림에 나타낸바와 같다.

6. 결론

모르터나 콘크리트의 수밀성 향상을 위해 혼화재의 종류로 팽창재, 실리카흄 및 스테아린산 아연을 복합적으로 사용한 모르터의 기초물성 및 수밀특성을 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 유동성은 팽창재의 혼입율이 증가할수록 증가한 반면, 실리카흄이나 스테아린산 아연을 혼입한 경우는 미분말의 증가에 따른 점성 증가로 혼입율이 증가함에 따라 감소하였다.

2) 강도특성으로 팽창재와 스테아린산 아연

은 혼입율이 증가할수록 초기재령에서 다소 감소하는 것으로 나타났다.

실리카흄을 혼합한 경우는 장기재령으로 갈수록 포졸란 반응의 영향으로 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 재령이 91일이고, 실리카흄 혼입율이 5%인 경우는 평균 10%, 혼입율이 10%인 경우는 평균 13%정도 증가하였다.

3) 수밀특성으로 투수와 흡수량은 팽창재의 혼입율이 증가함에 따라 기존 이론과는 달리 공기량이 증가된 것과 조직이 에트링가이트의 생성으로 이완된 것 등에 기인하여 크게 증가하는 것으로 나타났고, 실리카흄은 약간 감소하였다.

또한, 자체만으로도 발수성능을 나타내는 스테아린산 아연을 혼입한 경우는 투수 및 흡수량이 크게 감소하였는데 특히, 스테아린산 아연의 혼입율이 2.5%이고, 재령이 91일인 경우에서는 투수량이 평균 7.1g인 것으로 나타나, 스테아린산 아연을 혼입하지 않은 모르터에 비해 평균 36.2%정도 낮은 것으로 나타났다.

4) 상호관계 분석결과, 공기량과 투수량간에는 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타났는데, 본 연구범위에서는 공기량 1% 증가시 투수량은 약 74%정도 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, 높은 수밀성이 요구되는 모르터나 콘크리트의 경우 공기량에 대한 특별한 제한관리가 있어야 한다는 것을 시사하고 있었다.

參 考 文 獻

1) 박상준 : 무기질 혼화재를 이용한 수밀콘크리트의 성상에 관한 연구, 청주대 박사학위논문, 2001.8

2) 한천구, 박상준 : 무기질 혼화재 및 스테아린산 아연을 혼합한 시멘트 모르터의 수밀특성, 대한건축학회논문집, 제16권 12호, 2000.12, pp.105~110.

3) 건설교통부 : 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999, pp.145~146.

4) 오상근 : 콘크리트 방수의 현황과 대책, 한국콘크리트학회지, 제6권 2호, 1994. 4, pp.40~52.

5) 한국콘크리트학회 : 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997, pp.217~246.

6) 한국건자재시험연구원 : CSA시멘트의 특성평가에 관한 연구, 1996.

7) 공업진흥청 : KS F 2562 (콘크리트용 팽창재), 한국공업표준협회, 1989, pp.1~19.

8) 한국콘크리트학회 : 최신콘크리트공학, 1992. 10, pp.585~628.

9) Mehte.P.K : Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume, Cement and Concrete Research, Vol 12, 1982.

10) Malhotra.V.M, Carette.C.G ; Silica Fume Concrete-Properties, Applications, and Limitations, Concrete International, 1983.

11) 吳祥根 : ケイ酸質微粉末混合セメント係塗布防水材料の濕潤環境下のコンクリートおよびモルタルに對する水密性改善效果に關する研究, 東京工業大學, 1992. 3, pp.7~8.

12) 田中享二, 誤祥根 : ケイ酸質微粉末混合セメント係塗布防水材料の性質, セメント協會, セメント・コンクリート, 1992. 7, pp.22~30.