

Cement Mortar의 Plastic Shrinkage 특성에 관한 연구

송 영 진 · 송 명 신* · 이 경 희

〈명지대학교 무기재료공학과〉

1. 서 론

시멘트 모르타의 균열은 시멘트의 기본적인 특성인 수축에 의해 발생한다. 모르타의 수축현상은 물의 손실로 인한 일반적인 현상으로 엄격하게 말하면 3차원 방향으로 일어나는 변형으로 볼 수 있다.

그러나 이와 같은 수축변형의 효과는 기하학적인 면에서 볼 때 치수가 긴 방향으로 가장 크게 발생하기 때문에 보통 선형 변형율이라는 길이의 함수로 표현되는 것이 보통이다. 따라서 외기에 노출된 모르타에서 두께에 비해 길이가 훨씬 긴 경우에는 3차원보다는 2차원적인 수축이 균열을 주도하는 것으로 인정된다.

시멘트 모르타의 길이방향 수축을 발생시키는 요인은 주변환경의 영향을 받으면서 수축변형을 일으키는 건조수축과 초기의 소성수축이 대표적이라 할 수 있다. 이들 중 지금까지 주로 가장 많이 논의되어온 것은 모르타가 경화된 후 외기 중

에 노출되었을 때 발생하는 건조수축이다.

소성수축 현상은 모르타나 콘크리트의 수화 초기에 외부의 기후적인 요인이나 시공요인 등에 의해 발생하는 현상으로만 취급되었을 뿐 구체적인 연구가 거의없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기후 조건을 국내에서 가장 소성수축 균열이 많이 발생하는 시기인 봄철의 평균 기후조건으로 설정한 후 여러가지 재료를 이용한 모르타의 소성수축 특성을 비교함으로써 소성수축 균열에 대한 이해 및 이를 제어하기 위한 기초이론을 제시하고자 하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험 계획

2.1.1 실험 계획 및 수준

각 재료 특성에 따른 소성수축 특성을 비교하기 위하여 동일한 바람, 온도, 습도 조건을 설정

〈Table 1〉 Experimental conditions

conditions		variables	
mix	W/C (%)	5 type	50, 55, 60, 65, 70
	C/S	3 type	1 : 2.5 1 : 3 1 : 3.5
	sand	2 type	river sand, smashed sand (F. M = 3.0)
	Fly Ash	2 type	C×10wt%, C×20wt%
	Expansive Materials	2 type	S1, S2 C×10wt%
	Methyl Cellulose	2 type	C×0wt%, C×0.03wt%
measure	constant temperature constant humidity	1 type	setting time
	constant temperature constant humidity and variable wind	1 type	length change ratios
		1 type	inner temperatures of mortar

〈Table 2〉 Climate conditions of lab.

conditions	value
wind (m/s)	0, 3.5
temp. (°C)	23 ± 0.5
humidity (%)	55

하고 이 환경에 다양한 특성의 모르터 시료를 노출시켜 시간별로 변하는 모르터의 내부온도와 길이변화율을 측정하였다. 본 연구의 실험계획은 〈Table 1〉과 같다. 물시멘트비에 대한 실험을 제외한 나머지 수준의 실험은 물시멘트비를 60%로 고정하였다.

2.1.2 기후조건

바람, 습도, 온도 등의 기후조건에 대한 실험수준은 〈Table 2〉와 같으며 대형 인공기후실 (6,000 × 6,000 × 6,000mm) 내부에서 이와 같은 조건을 재현하였다.

2.1.3 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(비중 : 3.15, 비표면적 : 3,303cm²/g)를 사용하였고, 잔골재는 표준입도 범위에 속하는 강모래 및 부순모래를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 〈Table 3〉과 같다.

플라이애쉬(비중 : 2.23, 비표면적 : 3,519)는 보령 화력발전소산을 사용하였다. 팽창재 S1, S2는 CalsumeSulfoAluminate계이다. 사용된 MC(Methyl Cellulose)는 삼성정밀화학 제품이며 분자량 80HS, 점도 8000CPS 제품이다.

2.2 실험 장비

2.2.1 Vibrating Wire Strain Gage의 적용

모르터의 소성수축 변형은 모르터가 유동상태에서 응결상태를 거쳐 경화상태로 변화하는 과정

〈Table 4〉 Specifications of strain gauges

specifications	VCE-4200	VCE-4202
Length (mm)	153	50
Max Range (με)	3,000	3,000
Sensitivity (με)	0.5~1.0	0.4
Thermal Expansion ratio	12×10 ⁻⁶ με/°C	12×10 ⁻⁶ με/°C

에서 발생한다. 따라서 이 변형율을 측정하기 위해서는 이 세가지의 상태 모두에서 그 변형율을 측정할 수 있는 계측장비를 사용하여야 한다. 일반적으로 모르터나 콘크리트를 대상으로 사용되던 기존 길이변화 측정법은 대개 모르터나 콘크리트가 경화된 후의 변형량을 측정하는 것이므로 본 연구에서는 사용할 수가 없었다.

따라서 소성수축 변형량을 측정할 수 있는 방법으로 Geokon사의 Vibrating Wire Type의 매립형 스트레인게이지를 이용하는 방법을 채택하였다. Vibrating Wire Type 스트레인게이지는 일정한 장력이 가해진 금속선이 길이 변화를 일으킬 때 진동수가 바뀌는 원리를 이용하는 센서이다. 이 센서는 빈 파이프의 양단에 원형의 디스크가 달려있는 구조인데 이 파이프의 내부에 양단의 디스크를 연결하는 장력이 가해진 금속 와이어가 부착되어 있다. 어떤 변형이 양단의 디스크에 가해질 경우 그 내부의 금속 와이어의 장력과 진동수가 변하고 이는 길이 변형율로 환산된다. 이 센서의 제원은 〈Table 4〉와 같다.

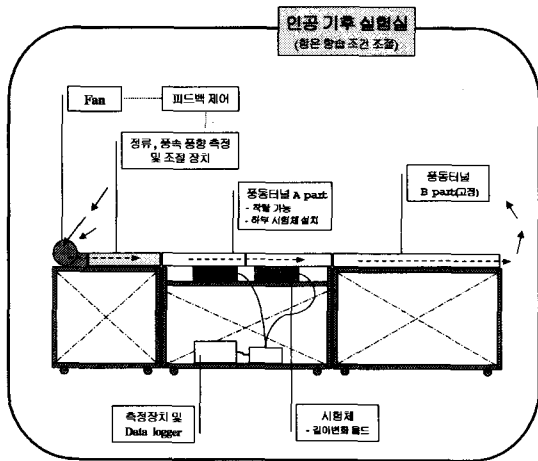
2.2.2 실험 설비의 구성

일정한 풍속조건을 유지하기 위해 정밀한 가변 풍속 터널을 제작하였으며 이를 대형 인공기후 실험실내에 설치하여 항상 일정한 온도와 습도의 공기가 순환되도록 실험 설비를 구성하였다.

실험 설비에 대한 간략한 구성도는 〈Fig. 1〉, 〈Fig. 2〉와 같다.

〈Table 3〉 Physical properties of sands

	F. M	sp. gr	absorption ratios (%)	weight per unit volume (kg/m ³)	volume ratios (%)	passive ratios by 0.08mm sieve (%)
river sand	3.0	2.56	1.73	1,616	63.1	2.5
smashed sand	3.0	2.58	1.63	1,612	62.5	4.6



<Fig. 1> Schematic diagram for testing equipment

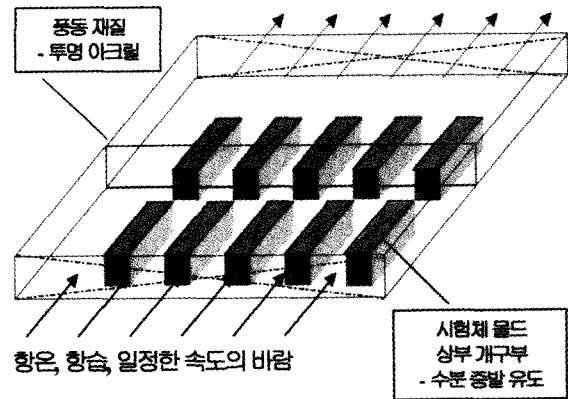
2.3 측정방법

봄철 국내에서는 기상 특성상 주로 건조한 서풍이 많이 불게 되는데 이 바람은 보통 정오를 전후해서 불기 시작한다. 이 기상현상을 모르터의 타설시간과 연관시킨다면 오전 8시에 타설한 모르터는 타설 후 4시간이 경과한 시점에서 바람에 노출되면서 급속히 수분을 잃는 것이며, 11시에 타설한 모르터는 타설 후 1시간 후부터 수분을 잃기 시작하는 것으로 볼 수 있다.

한편 응결시간과 소성수축과의 관계를 감안한다면 동일한 날에 동일한 장소에서 타설된 모르터라 하더라도 각각의 소성수축 균열이 발생할 가능성은 모르터의 타설 시점에 따라 현저하게 달라지게 된다고 할 수 있다. 이와 같은 장소 여건을 반영하기 위해 모르터를 경화과정의 여러 시점에서 바람에 노출시켜 그 각각에 따른 소성수축 특성을 파악하는 것이 필요하다.

소성수축 균열의 발생이 바람 뿐만 아니라 시간에 크게 지배되므로 동일한 기후조건이라 하더라도 어떤 장소는 이미 소성수축 균열이 발생했을 수도 있고 다른 장소는 타설 시간이 늦은 관계로 소성수축이 발생하지 않을 수도 있다. 따라서 전체를 관리하는 관점에서 볼 때는 서로 다른 장소에서 사용한 모르터의 소성수축 균열 발생 가능성을 서로 비교할 수 있는 기준도 필요한 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 이러한 상황을 감안하여 개별 재료에 바람을 부는 시점을 달리하여 얻은 소성



<Fig. 2> Figure of test sample arrangement

수축 변형을 곡선을 기본으로 하여, 가풍 시점이 각각 다른 변형을 곡선을 산술적으로 평균한 '평균 소성수축 변형을 곡선'을 고안하였다. 이 평균 소성수축 변형을 곡선은 어떤 특정 배합설계의 모르터에서 바람이 부는 시점과 관련없이 평균적으로 어느 정도의 소성수축이 발생할 것인가를 예측할 수 있는 자료가 되는 동시에 다른 배합설계의 모르터와 직접적인 비교가 가능할 것으로 예상되었다.

이에 따라 본 실험에서는 모르터를 타설한 후 각각 일정 시간이 경과한 후 동일 조건의 바람을 가하여 증발시작 시간을 다르게 하면서 소성수축 변형률을 측정하였다. 또한 각각 실험수준에 따른 시료에 대해서 시간대별로 가풍하여 얻은 소성수축 변형을 곡선과 이를 평균한 곡선을 차례로 제시하고 각 배합설계간의 비교 및 분석은 평균 소성수축 변형을 곡선을 통해서 실시하였다. 이와 같은 비교는 소성수축 메커니즘을 기본으로 하여 소성수축 변형율이 큰 시료가 소성수축 균열이 발생할 가능성이 높다는 가정을 전제로 하고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소성수축 발생 실험 결과

실험수준은 <Table 5>와 같으며 그 결과는 <Fig. 3>와 같이 나타났다. 측정은 100×100×400mm 콘크리트 길이변화 몰드에 온도와 길이변화율이 동시에 측정 가능한 Geokon 4200 매립형 스트레인게이지를 표면으로부터 30mm 아래쪽

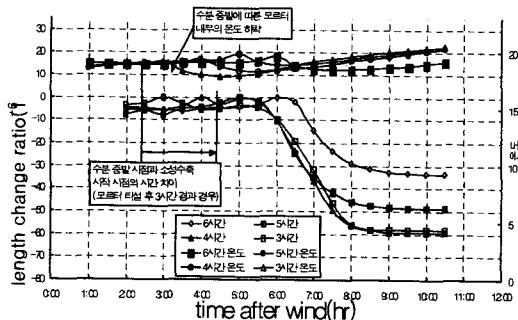
<Table 5> Experiment conditions of plastic shrinkage starting time

conditions	mortar	
mixing	C : S	1 : 3
	F. M	2.98
	W/C	60%
	Sample's dimension	100×100×400mm
climate	wind	3.5m/s
	humidity	55%
	temperature	23°C
	wind starting time	3, 4, 5, 6hr after mortar works

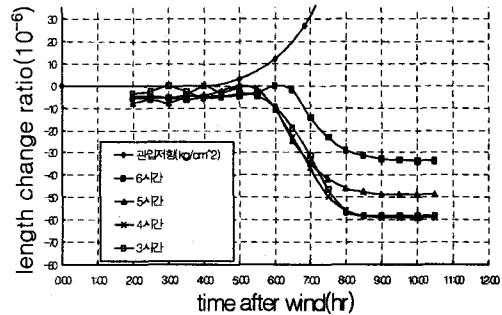
에 길이방향으로 위치에 설치하여 길이변화를 및 모르터 내부온도를 측정하였다.

<Fig. 3>의 그래프 상단에 나타낸 것은 모르터 내부의 온도변화이다. 여기에서 바람이 가해진 시점부터 모르터의 온도가 낮아지는 것은 물이 증발하면서 열을 잃기 때문이므로 모르터 내부에서 물이 증발되고 있음을 분명히 알 수 있다.

그러나 모르터 타설 후 3시간 경과 후부터 바람을 가한 시료의 경우 물은 증발하지만 소성수축 변형이 일어나지 않다가 약 2시간 30분이 경과한 후부터 수축변형이 일어나기 시작하고 있다. 또 4시간 시점에서 바람을 가한 시료는 약 1시간 30분이 경과한 후 수축변형이 일어난다. 이에 반하여 5시간이나 6시간에 바람을 가한 시료는 즉시 소성수축 변형을 보인다. 이와 같은 사실에서 모르터의 소성수축은 물의 증발이라는 요소 뿐만 아니라 모르터가 소성수축 변형을 일으키는 시점에 대한 논의도 중요하게 고려되어야



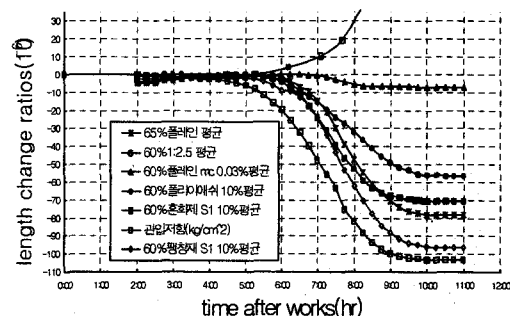
<Fig. 3> Relations of water evaporating time and plastic shrinkage starting time



<Fig. 4> Relations of setting time and plastic shrinkage starting time

함을 알 수 있다.

<Fig. 4>는 <Table 5>의 조건에 의한 실험과 동일한 조건에서의 모르터의 응결시간 사이의 상관관계를 보여주고 있는데 모르터의 응결이 시작되는 시점이 소성수축이 시작되는 시점과 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다. 한편 동일한 기상 조건과 유사한 응결시간을 가지는 시료라 할지라도 소성수축이 발생하는 시기나 그 크기 등은 시료를 구성하는 재료의 특성에 따라서 매우 크게 달라지게 된다. <Fig. 5>는 응결시간이 유사하게 나타나는 두 시료를 <Table 5>와 동일한 기후조건에서 각각 3, 4, 5, 6시간 후에 바람에 노출시켜 소성수축 변형율을 측정한 그래프이다. 각 시료의 실험수준은 <Table 6>과 같다. <Fig. 5>에서 시료 1의 초결시간(관입저항 35kg/cm² 발현시점)은 물시멘트비가 60%인 경우 <Fig. 4>에 비해서 약 한 시간 정도 지연된 8시간 정도이며, 시료 2는 팽창재 S1의 석고 성분에 의해서 동일한 물시멘트비의 시료에 비해 초결이 약 한 시간 정도 지연된 경우이다.

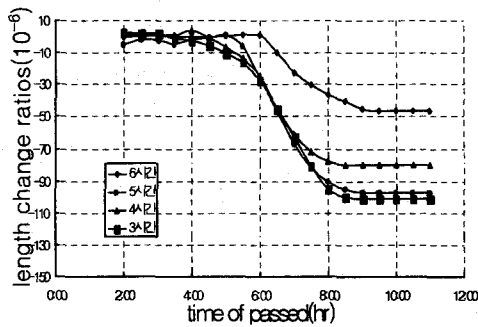


<Fig. 5> Plastic shrinkage transition ratios of samples with resembling setting time

<Table 6> Mixing conditions of samples with resembling setting time

	NO. 1	NO. 2
C : S	1 : 3	1 : 3
F.M	2.98	2.98
W/C	65 %	60 %
Specimen	100×100×400	100×100×400
Expansive	0	C×10wt%
Setting starting time (35 kg/cm ² over)	5 hr	5 hr
Initial setting time	8 hr	8 hr

이와 같이 응결시간과 기후조건이 같은 시료에서도 소성수축의 양상은 크게 다르게 나타나고 있으므로 시료 자체의 물시멘트비나 혹은 재료의 고유한 특성과 같은 성질도 소성수축 변형에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 모르타의 소성수축 균열에 대해서는 기존 연구에서 주로 알려져왔던 기후조건(온도, 습도, 풍속)이나 물시멘트비, 분체량 등의 요소 외에도 응결시간, 재료의 특성, 바람이 부는 시기, 기타 시공조건 등을 고려하여야 함을 알 수 있다.



<Fig. 6> Curves of transition ratios (W/C=55%)

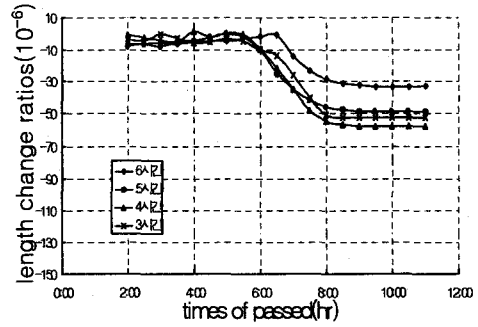
3.2 물시멘트비의 변화에 따른 특성

물시멘트비 55wt%, 60wt%, 65wt%에서의 1 : 3 모르타의 소성수축 실험결과를 <Fig. 6~9>에 나타내었다. 일반적으로 물시멘트비가 큰 실험체가 소성수축 변형율이 더 크게 나타날 것으로 예측되었으나 본 실험에서는 모르타의 물시멘트비 변화에 따른 소성수축 변형율은 특별한 경향이 없는 것으로 나타났다.

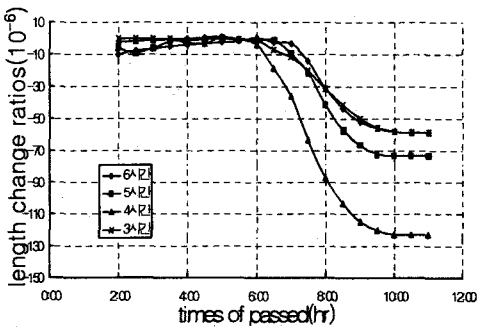
이는 본 연구의 기후조건이 상당히 혹독하므로 10% 정도의 물시멘트비 차이는 큰 영향을 미치지 못하기 때문으로 판단된다. 실제 현장에서도 소성수축 균열이 심하게 발생하는 경우에는 물시멘트비를 10% 이상 높여도 소성수축 균열이 저감되지 않는 사례가 빈번하게 나타난다. 한편 소성수축 변형은 모르타의 응결시간이 빠를수록 더 빨리 일어난다는 것을 <Fig. 9>를 통해 확인할 수 있었다.

3.3 시멘트골재비의 변화에 따른 특성

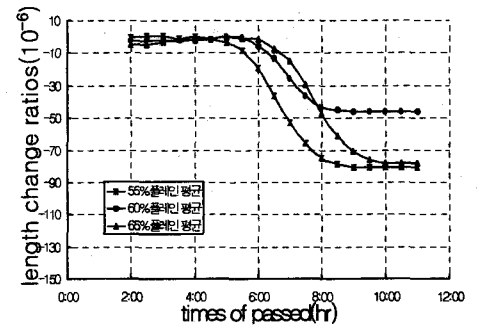
모르타 배합비에 의한 소성수축 변형특성을 파악하고자 물시멘트비 60wt%를 기준으로 하여



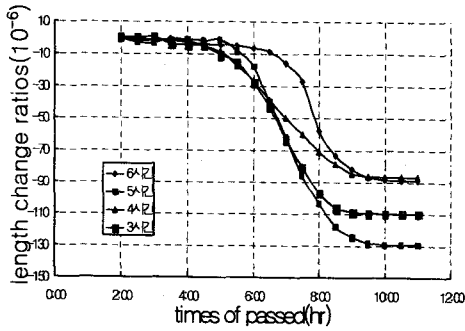
<Fig. 7> Curves of transition ratios (W/C=60%)



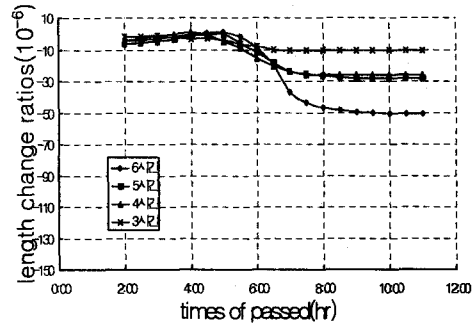
<Fig. 8> Curves of transition ratios (W/C=65%)



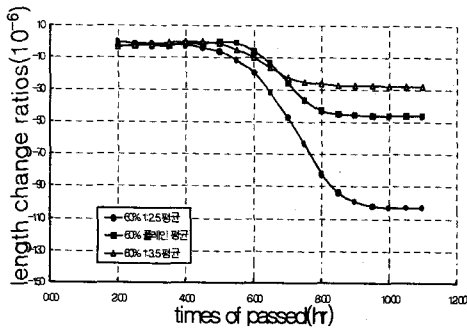
<Fig. 9> Average transition ratios



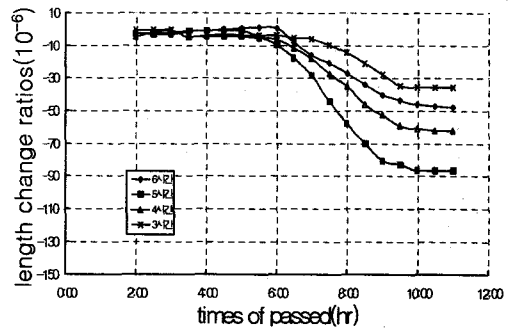
<Fig. 10> Curves of transition ratios (C : S = 1 : 2.5)



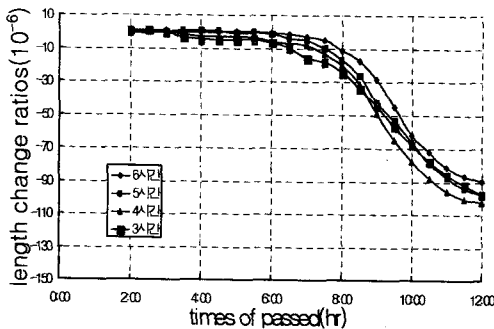
<Fig. 11> Curves of transition ratios (C : S = 1 : 3.5)



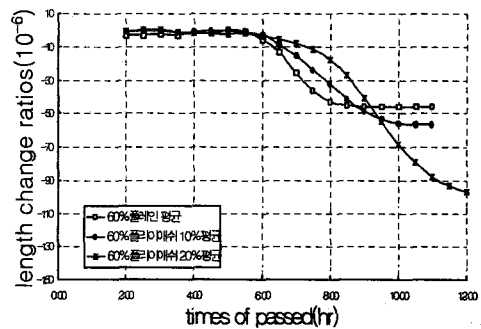
<Fig. 12> Average transition ratios



<Fig. 13> Curves of transition ratios (Fly ash 10wt%)



<Fig. 14> Curves of transition ratios (Fly ash 20wt%)



<Fig. 15> Average transition ratios

1 : 2.5, 1 : 3.5 모르터에 대한 소성수축 변형특성을 검토한 결과를 <Fig. 10~12>에 나타냈다. 골재의 비율이 낮은 배합의 모르터는 골재비가 높은 배합의 모르터에 비해 소성수축 변형이 훨씬 더 크며 1 : 2.5 모르터는 1 : 3.5 모르터에 비해 소성수축 변형율이 3배 이상 크게 나타나는 것을 <Fig. 12>를 통해서 확인하였다. 이는 분체량이 소성수축 변형율을 지배하는 가장 중요한 요소라는 기존 이론과도 일치하는 결과이며, 소성수축 변형은 골재비에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

3.4 플라이애쉬 첨가에 따른 특성

1 : 3 모르터, 물시멘트비 60wt%를 기준으로 하여 시멘트량에 대해 10wt%, 20wt% 치환한 모르터의 소성수축 변형특성을 <Fig. 13~15>에 나타내었다. <Fig. 15>에서 보는 바와 같이 플라이애쉬 10% 이하의 치환은 소성수축 변형량을 크게 증가시키지 않으면서 그 기울기를 완만하게 함으로써 오히려 소성수축 균열을 저감시키는 효과를 가져올 수 있을 것으로 기대된다. 20%의 플라이애쉬를 치환한 시료의 소성수축 변형량 그래프인

<Fig. 14>는 다른 시료와 달리 모든 가공 시간대에서 큰 소성수축 변형을 나타내는데 이는 응결이 시작되어 초결에 이르기까지의 시간이 길어서 그동안 많은 양의 수분증발이 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

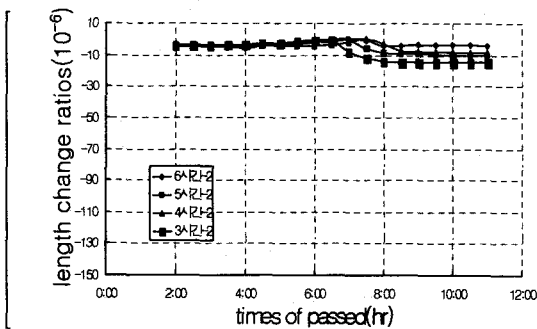
3.5 메틸셀룰로스 첨가에 의한 특성

메틸 셀룰로오스(MC)는 증점제로서 수분이 쉽게 증발하지 못하도록 막아주는 역할을 한다. 물시멘트비 60wt%, 1:3, 1:3.5 모르타 배합에서 시멘트량 대비 0.03wt%의 메틸셀룰로오스를 첨가한 경우의 소성수축 변형특성을 <Fig. 16~18>에 나타내었다. <Fig. 18>에 의하면 1:3 모르타에서 모르타 혼합 10시간 경과 후에 MC를 첨가하지 않은 Plain 모르타가 MC를 첨가한 모르타의 경우보다 약 5배에 해당하는 소성수축 변형을 나타내고 있으며 1:3.5 모르타에서도 MC를 첨가하지 않은 시료는 2.5배나 큰 소성수축 변형을 보이고 있다. 즉, 모르타의 수축변형은 역시 모르타 중의 수분증발을 제어함으로써 수축율을 줄일 수 있음을 확인할 수 있었으며 증점제인 M

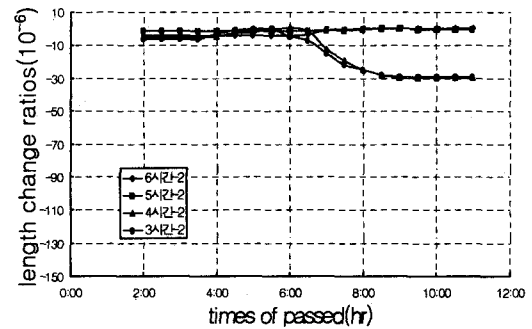
C가 소성수축 변형을 제어하는데 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 한편 MC를 첨가할 경우 응결이 약 2시간 정도 늦어진다.

3.6 팽창재 첨가에 따른 특성

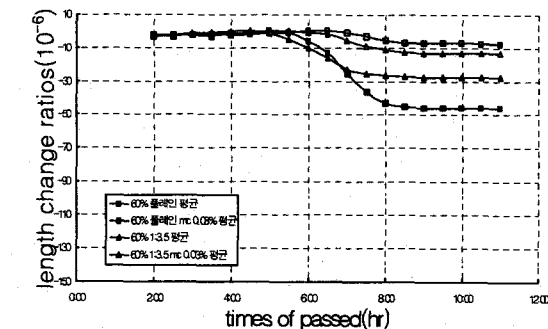
건조수축 보상용 재료로 사용되고 있는 팽창재를 물시멘트비 60wt%, 1:3 모르타 배합에서 시멘트량 대비 10wt% 치환하여 사용한 모르타의 소성수축 변형특성을 <Fig. 19~21>에 나타내었다. 팽창재 S1, S2는 Hauyne계 팽창재로서 시중에 유통되고 있는 재료를 사용하였으며, 이들을 사용한 모르타의 물리적 특성을 <Table 7>에 나타내었다. 그림에서 보면 팽창재 S2를 첨가한 모르타는 상당히 큰 소성수축 변형율이 나타났는데 이는 S2를 사용한 모르타가 초기응결이 빠르기 때문에 모르타 내부에 많은 수분이 존재하는 상태에서 소성수축이 시작되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 팽창재를 사용하여 건조수축에 의한 균열을 저감하고, 초기의 소성수축에 의한 수축균열 저감 성능을 개선하기 위해서는 응결이 시작되기 전까지의 과정을 제어하는 것이 필요할



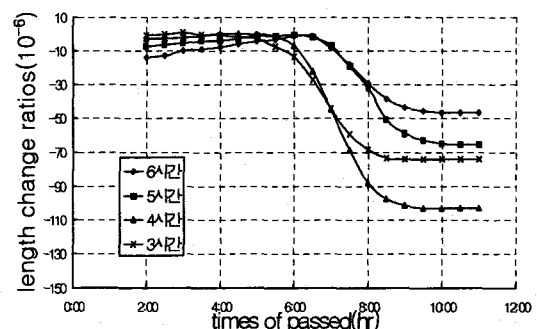
<Fig. 16> Curves of transition ratios (MC 0.03wt %, 1:3mortar)



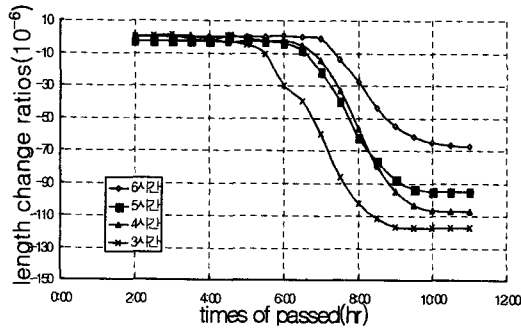
<Fig. 17> Curves of transition ratios (MC 0.03wt %, 1:3.5mortar)



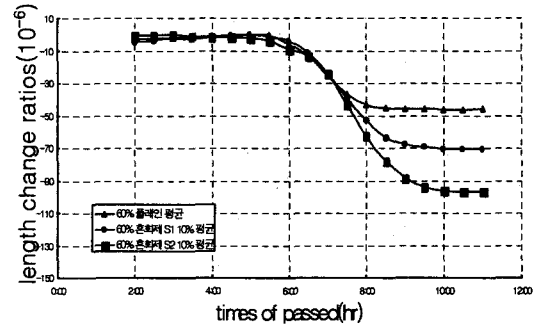
<Fig. 18> Average transition ratios (W/C=60%)



<Fig. 19> Curves of transition ratios (S1, W/C=60%)



<Fig. 20> Curves of transition ratios (S2, W/C = 60%)



<Fig. 21> Average transition ratios (Plain, S1, S2, W/C = 60%)

것으로 판단된다.

3.7 고찰

콘크리트나 모르터의 소성수축 변형을 지배하는 주요한 원인은 물의 증발과 모르터 배합 중의 미분의 양이라고 알려져 있다. Nakamura¹⁾에 의하면 2.5m/s 바람에 노출시킨 모르터는 실내에 둔 것에 비해 약 2.5~5배의 수축이 발생하며 특히 시멘트 골재비가 낮을수록 수축이 더 커진다고 하였다. 또한 Ravina & Shalon²⁾에 의하면 풍속이 크고 기온이 높을수록, 즉 건조속도가 빨라질수록 수축은 크고 빠르게 진행되며, 수축 변형이 최대로 진행된 지점에서 균열이 발생한다고 하였다. ACI Manual of Concret Praticce³⁾ (이하 ACI) 305R에서는 높은 콘크리트 온도, 높은 바람 속도, 낮은 습도가 각각 또는 복합적

으로 작용하여 블리딩 수의 증발이 빨라질 경우 콘크리트에서 소성수축 균열이 발생할 확률이 현저히 높아진다고 기술하고 있으며 또 Benture⁴⁾에 의하면 타설 직후(타설후 0~4시간이내) 동일한 환경조건에 있는 콘크리트의 경우 물시멘트비가 낮을수록 높은 수분증발율을 보이며, 24시간이 경과한 시점에서 증발한 전체 물의 양은 물시멘트비가 가장 높은 콘크리트가 가장 크다고 한다. ACI⁵⁾에서는 증발하는 물의 양이 1.0kg/m²/hr을 초과할 경우 콘크리트의 소성수축 균열이 발생할 가능성이 높으므로 주의가 요구된다고 기술하고 있다.

이와 같이 소성수축에 중요한 영향을 미치는 요인으로 분체량이나 물시멘트비를 들 수 있으며 이에 따른 응결시간, 재료 특성 등이 고려되어야 할 문제들이므로 결국 모르터의 소성수축 균열을

<Table 7> Physical properties of expansive materials

expansive		S 1	S 2	methods
flow (mm)		230 over	230 over	ASTM C-109
setting time	initial	3:25	2:20	KS L 5207. 8
	final	5:40	4:15	
compressive strength (kgf/cm ²)	3 d	74	62	KS L 5207. 11
	7 d	129	117	
	28 d	227	214	
length change ratios	7 d	4.52×10 ⁻⁴	9.85×10 ⁻⁴	KS F 2562. 6. 4
	14 d	2.76×10 ⁻⁴	6.71×10 ⁻⁴	
	21 d	1.64×10 ⁻⁴	5.59×10 ⁻⁴	
	28 d	-0.21×10 ⁻⁴	5.50×10 ⁻⁴	
	35 d	-1.54×10 ⁻⁴	5.21×10 ⁻⁴	

제어하는 현실적인 방법은 재료 차원의 접근일 수 밖에 없다. 이러한 재료적인 접근을 시도한 본 연구의 결과 혼화제 등의 첨가는 미분의 양을 증가시키는 원인이 되므로 소성수축을 제어하기 위한 용도로는 바람직하지 않으며, 수분의 증발을 억제시키는 재료의 사용이 필요한 것으로 판단되며 혼화제 사용으로 응결시간을 조절하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 시멘트 골재비의 관계도 결국에는 분체량의 증가요인과 동일하다고 할 수 있다. 기타 건조수축을 저감하기 위한 팽창재의 사용시에는 사전에 충분히 검토하여 배합 비율 및 응결시간 조절용 혼화제 등의 혼합사용 등을 충분히 검토하는 것이 바람직하다.

4. 결 론

본 연구에서 적용된 기후조건은 온도 23°C, 습도 55%, 풍속 3.5m/s였으며 이는 우리나라 5월의 중순에서 하순쯤에 해당하는 대표적인 날씨이다. 이와 같은 기후조건 아래에서 여러가지 모르타 type에 대한 초기 소성수축 변형율에 대해 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 소성수축 변형은 모르타의 응결이 시작된 시점에서 시작되어 종결 전에 종료된다. 따라서 모르타의 응결이 빨리 일어나면 소성수축도 빨리 일어나게 된다. 이는 20~23°C 기준으로 모르타 타설 후 약 2시간 30분에서 9시간 사이의 시간이다.
- 2) 시멘트 골재비는 소성수축의 크기에 큰 영향을 미치며 1:2.5 모르타는 1:3.5 모르타에 비해 소성수축 변형율의 크기가 약 3배 이상이다.
- 3) 플라이애쉬의 시멘트 치환량이 10% 이하이면 소성수축을 크게 증가하지 않으나 20% 치환할 경우 치환하지 않은 것에 비해서 두배 이상의 소성수축 변형이 일어난다.

- 4) Methyl Cellulose는 소성수축을 줄이는데 큰 효과를 발휘한다.
- 5) 모르타에서 충분한 수분이 증발하지 않은 상태에서 응결이 시작되면 소성수축이 커지게 되므로 팽창재 사용시에는 응결시간에 대한 검토가 필요하다.

〈REFERENCES〉

1. T. Nakamura, G. Sudoh, S. Akaiwa, 5th Inter. Symp. Chem. Cement, Vol. 4, p. 351 (1969).
2. Ravina, D. and R. Shalom, "Plastic Shrinkage Cracking", Journal of ACI Vol. 65, No. 4, pp. 282~292.
3. ACI, "ACI Manual of Concrete Practice 305R".
4. M. Ish-Shalom, A. Benture, Cement Concrete Research, Vol. 4, p. 519 (1974). Vol. 5, p. 139 (1975).
5. Milos Polivks, ACI SP 38-10, pp. 227~237 (1972).
6. 안태송, "Restrained Shrinkage-Its impact on the response of Reinforced concrete", univ. of Missouri-Columbia.
7. Tazawa. E. "Influence of Curing Time on Shrinkage and Weight Loss of Hydrating Portland Cement", Proceeding of JSCE, No. 159 (1969).
8. 田澤英一 外, "自己收縮におよぼすセメントの自己收縮の影響", セメント・コンクリート論文集, No. 47 (1993).
9. Hopps. D. W. "Influence of Aggregate Restraint on the Shrinkage of Concrete", J. of ACI, Vol. 71, No. 9, pp. 445~450 (1974).