

시멘트경화체의 건조수축균열에 미치는 혼화재의 영향

Effect of Admixtures on Drying Shrinkage Crack of Hardened Cement Mortar

이 승 한* 이 종 식**
Lee, Seung Han Lee, Jong Suk

In this study we have the properties of drying shrinkage crack of hardened cement mortar using admixtures. The drying shrinkage cracking test process has been examined by the restrained drying shrinkage strain by restraining rate measuring properties of strain-with-restraint by JIS original proposal and keeps a flow value of mortar about 100±5%.

The results show that the usage of shrinkage reducing agent 1.5% was effective on the control of drying shrinkage in OPC and CP by restraining rate 20% and strain-with-restraint 20~30 μ , the usage of expansion agent 0.45% was effective by restraining rate 50~60% and strain-with-restraint 40~80 μ , and the effectiveness was increased with shrinkage reducing agent.

Also, admixtures such as Flyash, CP and NC reduced restrained shrinkage and drying shrinkage cracking and more with shrinkage reducing agent

1. 서론

콘크리트의 건조수축균열은 철근 콘크리트 구조물에 발생하는 균열중 가장 일반적인 것으로 구조물의 내구성과 방수성 또는 미관에서 방지대책의 확립이 절실히 요망되어 건조수축 균열방지를 위한 각종 혼화재의 개발과 시공법의 개선이 행하여지고 있다. 그러나, 실제의 콘크리트 구조물에 발생하는 균열은 건조수축 뿐만 아니라 건조수축속도, 구속률, 인장강도와 크립 등 요인이 복잡하게 얽혀 있고 사용재료에 따라 달라지기 때문에 이상적인 구속상태를 상징하는 것이 매우 어려워 균열발생 조건이 정량적으로 파악되어 있지 않다.¹⁾

여기서 본 연구는 건조수축균열 방지를 위한 수축저감제, 팽창제 및 각종 혼화재 사용시 정량적인 건조수축 균열발생 조건을 명확히 하기 위하여 외부구속방법에 의한 건조수축구속 실험을 실시하여 구속률에 따른 구속인장변형 및 구속압축변형을 검토한 것이다.

2. 실험개요

2. 실험개요

본 실험은 JIS원안²⁾의 실험방법에 준하여 실시하였고, 콘크리트의 사용재료, 배합 등의 조건이 균열발생에 미치는 영향에 관해서 실험을 행하였으며 균열발생일수, 균열발생전 구속수축 변형률 및 매입게이지에 의한 콘크리트의 변형률 등을 측정하였다.

2.1 사용재료

실험에 사용한 주요재료를 표-1에 나타내었다. 시멘트는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 세골재는 경남 합천 황강사 3과 경북 낙동강 무태산 세사 1을 혼합하여 사용하였다. 또한 건조수축효과를 높이기 위하여 혼화재료는 Fly-ash와 무기계 혼화재를 사용하였으며, 혼화재료는 건조수축저감제, 팽창제를 사용하였다.

* 계명대학교 토목공학과 부교수

** 계명대학교 토목공학과 석사과정

표-1 주요 사용재료

종류 및 기호	産地	比重	성상·성분
시멘트 C	S사재	3.13	Blain 3190cm ² /g
세공재	S	2.46	흡수율1.47%
	합천항강산 낙동부태산		
혼화재	FA	1.85	-
	CP	2.92	Blain 7500cm ² /g
	NC	-	-
혼화재	TG	0.99	알칼리옥시드 부가분
	CB	-	분말

2.2 배합 및 제조방법

2.2.1 배합

배합조건으로는 혼화재의 종류에 따른 건조수축균열 제어효과를 알아보기 위하여 Flyash 30%, 고강도용 혼화재 CP 15% 및 균열저감재 NC를 25% 치환하여 사용하였으며 이들의 배합에 수축저감재 TG와 팽창재 EX를 각각 시멘트의 1.5%와 0.45%로 고정시켜 사용하였다. 또한 이들이 균열발생일수·균열발생시의 구속수축응력 등에 미치는 영향에 관하여 실험을 실시하였다.

2.2.2 공시체의 제작 방법

모르타는 용량 50 l, 60rpm의 강제믹서를 사용하여 1분간 시멘트와 세공재를 Dry Mixing 하고 물을 가하여 3분간 혼합하여 100±5%의 흐름값을 측정 한 후 시험체 제작에 사용하였다. 균열발생용 공시체의 치수는 그림-1에 나타난 것과 같이, 길이 1020mm(정착부폭 170mm, 직선부폭 100mm)×높이 100mm이며 균열 공시체의 구속판의 두께는 JIS원인²⁾에 따라 2.4mm를 사용하였다.

2.3 양생방법

양생은 재령7일까지 온도 26±1℃의 실험실에서 濕布散水養生하고, 재령7일에서 탈형하여 온도26±1℃, 濕度90±5RH 동실에서 건조를 개시하였다.

2.4 건조수축균열 시험방법

건조수축균열 시험방법의 흐름도를 그림-2에 나타내었다.

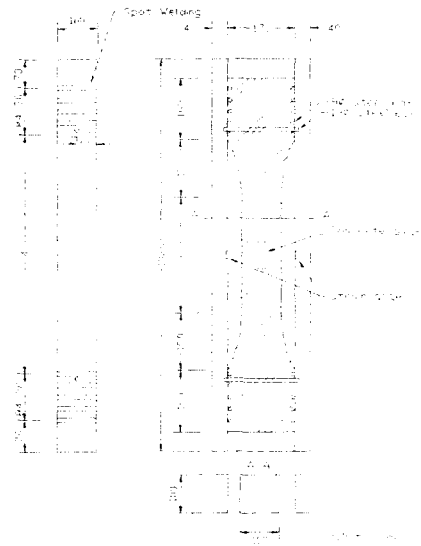


그림-1 균열발생 공시체의 형상과 치수

구속판의 변형률은 와이어 스트레인 게이지와 콘크리트 내부에는 매입형 볼트게이지를 성형지진에 측장을 하였으며, 구속판, 자유수축 변형률, 구속수축 변형률은 공시체 탈형 직후(건조개시)를 기준으로 하여 공시체에 균열이 발생할 때까지 변형률 측정기(TDS301) 및 Switch box(ASW-50B)를 사용하여 6시간 간격으로 측정하였다.

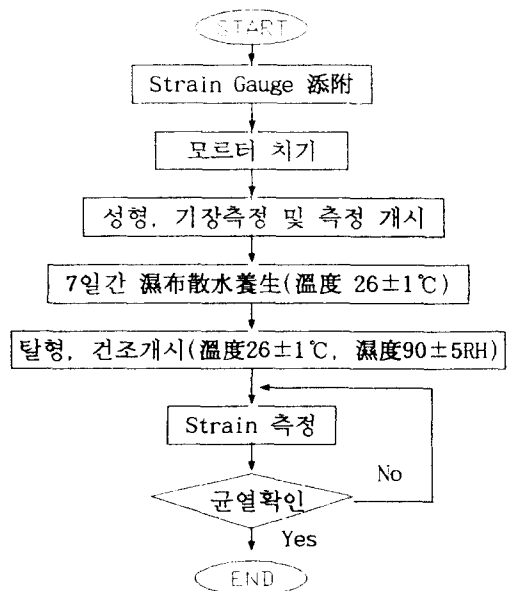


그림-2 시험방법의 흐름도

4. 실험결과 및 고찰

4.1 건조수축에 따른 구속변형

건조수축균열 시험은 공시체의 건조수축을 구속하여 균열을 발생시키는 것을 목적으로 하기 때문에 팽창제를 사용한 콘크리트의 경우는 장치의 구속률을 높인 필요가 있지만, 본 실험에서는 JIS원인의 공시체를 사용하여 팽창제 사용시의 변형률의 상대적 평가를 행하였다.

구속기부기 시험체를 구속할 때에는 그림-3과 같이 구속판에는 구속수축변형이 공시체에는 구속인장변형이 생기게 되고 이들의 합은 자유수축변형으로 표현된다.⁽³⁾

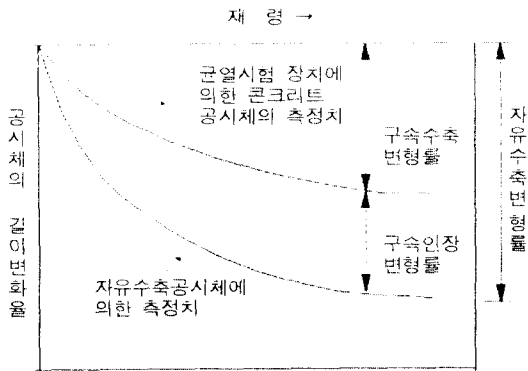


그림-3 각종 변형률의 관계

균열발생전까지의 모든 공시체는 콘크리트 변형률과 구속판의 변형률이 거의 같은 값으로 증가하고, 균열발생과 거의 동시에 변형률이 0점 부근까지 내려가게 된다는 栗津⁽³⁾의 보고가 있으며, 또한 콘크리트의 균열발생일수는 습도 $90 \pm 5RH$ 의 조건하에서 28~57일로 飛坂⁽⁴⁾은 보고하고 있다.

그러나 건조개시 42일 현재, 시험체 12개 공히 $90 \pm 5\%$ 의 고습도인 관계로 균열이 발생되지 않고 있지만 각 공시체별 구속변형의 경시변화는 현저한 차이를 나타내고 있다.

4.1.1 혼화제 사용시의 구속변형

그림-4에 나타냈듯이 전반적으로 OPC와 CP 15% 치환 공시체 공히 수축저감제 TG1.5%를 사용했을 경우는 사용하지 않았을 때보다 구속수축저감에 있어 탁월한 효과를 나타내고 있으며 재령 42일에서 OPC의 구속인장변형률이

150μ 보다 5배나 작은 30μ 를 나타내고 있다. 또한, 이 그림은 수축저감제 1.5% 사용시 CP 15% 치환에서도 재령 42일의 구속변형률 80μ 를 20μ 까지 줄일 수 있음을 나타내고 있다.

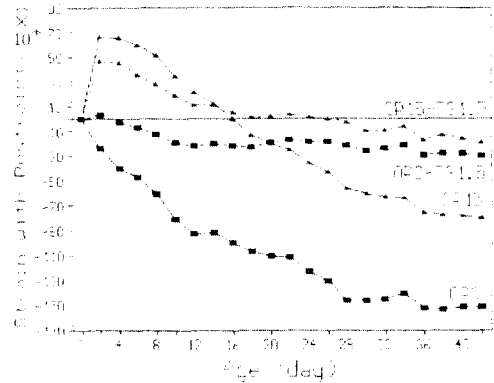


그림-4 사용재료별 구속변형의 경시변화 (수축저감제 TG 1.5% 사용시)

그림-5는 OPC에 혼화제 사용시의 재령별 구속변형률을 나타낸 것이다. 이 그림에서 구속변형은 팽창제 사용시 OPC의 1/2정도, 수축저감제 사용시 약 1/5로 작아서 효과가 크며, 혼용하였을 경우는 10μ 정도의 팽창성을 나타내어 더욱 효과적임을 나타내고 있다.

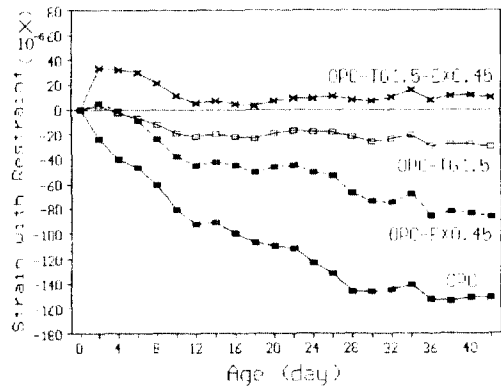


그림-5 사용재료별 구속변형의 경시변화 (팽창제 EX0.45% 사용시)

4.1.2 혼화제 사용시의 구속변형

그림-6에서의 수축저감제 NC 25% 치환은 경화초기뿐만 아니라 재령 42일에서도 팽창성을 나타내어 균열방지에 효과적임을 알 수 있다. 또한 Flyash와 CP도 경화초기에 팽창효과를 나

타내고 건조수축이 진행된 재령 42일에는 OPC의 1/2정도의 구속변형을 나타내어 구속변형의 저감에 효과적이다.

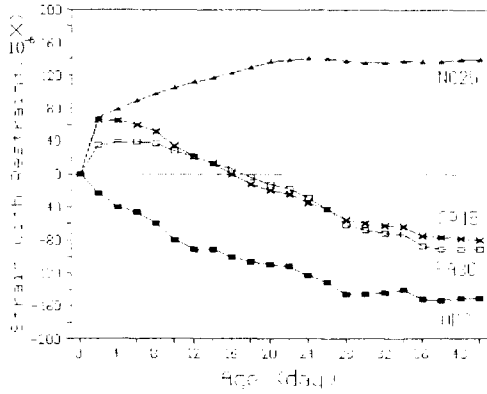


그림-6 사용재료별 구속변형의 경시변화 (혼화제 사용않는 경우)

4.2 실구속률

구속률은 철근이나 기타 강재가 자유수축변형을 제어하는 비율을 나타내는 지표로, 이에 따라서 공시체와 구속판의 구속변형과 균열발생일이 달라지기 때문에 중요한 요소라 할 수 있다. 구속률은 자유수축변형에 대한 구속인장변형의 백분율로 나타낼 수 있고, 또한 자유수축변형은 구속인장변형과 구속수축변형을 합한 값으로 나타낼 수 있으므로 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$R = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_f} \times 100 = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_R + \epsilon_s} \times 100 (\%)$$

여기서 R : 실구속률, ϵ_f : 자유수축변형
 ϵ_R : 구속인장변형, ϵ_s : 구속수축변형

상기식을 사용하여 표-2에 재령 42일의 각 공시체별 구속변형과 실구속률을 나타내었고, 이것을 그림-7에 도시화하였다. FA 및 CP의 혼화제 치환에 따른 구속률은 약간씩 작아지고 있으나 변화는 크게 나타나지 않고 있다. 그러나 수축저감제 1.5%의 사용은 OPC와 CP 15% 치환에서 구속률 20%, 구속변형 20~30 μ 로 건조수축 균열제어에 효과적임을 알 수 있었고, 팽창제 0.45% 사용은 구속률 50~60%, 구속변형 40~80 μ 로 효과적이며 수축저감제와 병용 사용시 효과가 증대된다.

표-2 각 시험체의 변형과 구속률

종류		ϵ_f ($\times 10^{-6}$)	ϵ_s ($\times 10^{-6}$)	ϵ_R ($\times 10^{-6}$)	R (%)
O	0	229	78	151	65.9
	TG1.5	138	108	30	21.7
P	EX0.45	141	55	86	61.0
	TG1.5-EX0.45	-	-	-	-
FA	0	154	62	92	59.5
	TG1.5	179	98	81	45.1
30	EX0.45	77	40	37	47.7
	TG1.5-EX0.45	126	93	33	26.1
CP	0	171	91	80	46.4
	TG1.5	103	84	19	18.4

(재령 42일)

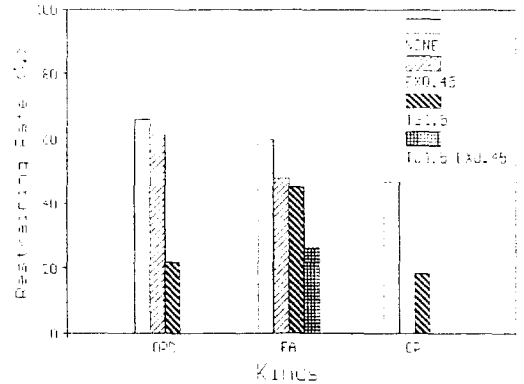


그림-7 사용재료별 구속률의 경시변화

또한, 그림-8에 재령에 따른 구속률의 변화를 나타내었다. 이 그림에서 재령에 따른 구속률의 증감은 나타나지 않고 있으나, OPC와 팽창제 사용 공시체는 50~80%정도의 구속률을 보이는 반면, TG 사용 공시체는 구속률의 20% 정도로 작아 수축저감제 TG가 균열저감에 효과적임을 시사하고 있다.

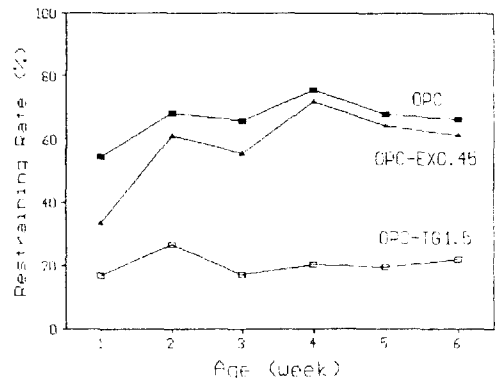


그림-8 구속률의 경시변화

4.3 휘 및 압축강도

표-3은 수축저감제 1.5% 및 팽창제 0.45% 사용에서 강도저감이 크게 일어나지 않고 있음을 나타내고 있으며, CP 치환으로 강도가 증진되며 15% 치환시는 28일 압축강도가 일반 시멘트 모르타르보다 100kg/cm² 정도 증가되어 있다. 그러나 NC25의 경우 7일 압축강도가 일반 시멘트 모르타르의 82~83% 정도로 감소된 82~100kg/cm²이며 28일 강도 또한 157~178kg/cm²로 건조모르타르에 대한 KS규격¹⁾ 210kg/cm²를 밑돌고 있어, 이에 대한 강도 보정이 주후 필요하다.

표-3 휘 및 압축강도 측정 일람표

종 류	강 도	휘 강 도 (kg/cm ²)		압축강도 (kg/cm ²)	
		7	28	7	28
		DAY	DAY	DAY	DAY
O	0	59	84	289	386
	TG1.5	56	80	263	360
P	EX0.45	49	74	212	268
	TG1.5EX0.45	51	74	234	325
FA	0	48	56	150	240
	TG1.5	36	63	132	215
	EX0.45	45	58	119	201
30	TG1.5EX0.45	42	61	125	210
	CP	0	54	82	321
15	TG1.5	56	91	237	500
	NC	0	29	35	100
25	TG1.5	24	36	94	162

5. 결론

본 실험의 범위 내에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 수축저감제 1.5% 사용은 JIS원안의 균열 발생시험에서 구속수축변형률을 1/4~1/5로 줄일 수 있어 구속을 받는 구조에서 균열방지 효과가 있을 것으로 사료된다.

(2) 팽창제는 구속수축의 저감에 효과적이며, 수축저감제와 혼용사용시 그 효과가 증대된다.

(3) 재령 42일에서 NC는 팽창성을 나타내었고, Flyash와 무기계혼화제 CP는 OPC의 1/2정

도의 구속변형을 나타내어 혼화제로 치환하여 사용한 경우도 구속변형의 저감에 효과적이었다.

(4) 무기계 혼화제 NC의 25% 치환 사용은 팽창성을 나타내어, 외부 구속사 균열방지 효과가 뛰어나지만 압축강도가 82~83% 떨어져 강도에 대한 보정이 필요하다.

(5) 구속율은 재령에 따라 변화하지 않으며 OPC와 팽창제 사용 양식체는 50~80%, TG 사용 양식체는 20% 정도의 구속율을 나타내어 균열방지에 효과적임을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) Motoo HISAKA, Takatsugu MANO : Influence of water-cement ratio on drying shrinkage of concrete in cracking test. CAJ Proceedings of Cement & Concrete No. 44, 1990 pp.678~683
- 2) 仕人豊和, 青柳征夫 : 콘크리트의ひびわれ試験方法(案), 日本コンクリート工學, VOL.23, No.3, March 1985, pp.40~51
- 3) 栗津善文, 牧角龍憲, 古賀源象 : 部材厚さが乾燥収縮ひびわれん及ぼす影響についての實驗的研究, 土木學會第41回 年次學術講演會, V-174. 1986.11. pp.345~346.
- 4) 飛坂基夫, 眞野孝次, 安田正雪, 神田彰久 : 콘크리트의乾燥収縮ひびわれ試験方法に關する檢討, セメント技術年報 42, 1988. pp.419~422.
- 5) 金生彬 : 철근콘크리트공학, 1992. pp35~36
- 6) 1993 KS총람 : KSL 5220 건조 시멘트 모르타르, 사단법인 한국공업표준협회.