

팽창재를 혼입한 철근콘크리트 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Flexural Behavior of RC Slabs
with Expansive Additives



박홍용*

Park, Hong-Yong



김철영*

Kim, Chul-Young



최익창**

Choi, Ik-Chang



배상욱***

Bae, Sang-Wook



이호석****

Lee, Ho-Suk

ABSTRACT

This study aims to improve serviceability of concrete by inducing chemical prestress with the application of expansive additives for concrete. For this purpose, material tests and 4 point-bending tests of RC slabs were performed to verify the effect of expansive additives on the concrete, and the critical aspects of the structural behavior were investigated.

The results of the material tests show that the optimal proportion of expansive additives is 13% of total cement weight and the properties of expansive concrete in that proportion are the same as those of plain concrete. Both the experimental cracking load and service load of the expansive concrete slabs are increased in comparison with those of the plain concrete.

In addition to the above results, the deflection of expansive concrete is smaller than that of plain concrete, and permanent strains resulting from cyclic load are decreased.

It can be concluded that the use of expansive additives to induce chemical prestress in RC slabs greatly improves the serviceability.

Keywords : chemical prestress, cracking load, expansive additives, service load

* 정회원, 명지대학교 토목·환경공학과 교수

** 정회원, 목포해양대학교 토목공학과 조교수

*** 정회원, 명지대학교 토목·환경공학과 석사과정

**** 정회원, 토암산업(주) 부사장

· 본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 31일까지 학회로 보
내 주시면 2001년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트는 재료적인 측면과 구조적인 측면에서 여러 가지 장점을 가지고 있어 오랫동안 천연 석재를 대신하여 건설재료로서 확고한 자리를 잡았다. 그러나 그 나름대로의 장점이 있지만 단점이 없는 것도 아니다.

재료적인 측면에서 콘크리트의 단점은 건조수축이며, 건조수축량이 콘크리트의 인장강도의 한계 값을 넘으면 콘크리트 표면에 균열이 발생한다. 구조적인 측면에서 콘크리트 단점은 압축강도에 비해 인장강도가 현저하게 작다는 것이다. 이것을 보완하기 위해 철근을 사용하지만 이것 또한 근본적으로 균열 발생을 억제하지는 못한다. 이런 이유로 균열이 발생하면, 미관상 좋지 않을 뿐만 아니라 콘크리트를 중성화시키고, 철근의 부식을 촉진시켜 콘크리트 구조물의 내구성에 문제가 된다.

따라서, 이러한 콘크리트의 균열 문제를 해결하기 위해서 구조물의 인장부에 미리 압축응력을 발생시키는 프리스트레스 공법이 도입되었다. 프리스트레스 공법은 콘크리트의 단점을 구조적으로 해결하는 방법이었으며, 콘크리트의 재료적인 측면에서 균열을 억제하기 위해 개발된 것이 팽창재이다.

팽창재는 수화반응에 의해 팽창수화물을 생성하는데 이것이 콘크리트를 팽창시키는 작용을 한다. 그러므로 적당량의 팽창재를 혼입하여 만든 팽창콘크리트는 콘크리트의 건조수축으로 인한 균열을 방지할 수 있고, 비교적 다량의 팽창재를 혼입하여 만든 팽창콘크리트는 큰 팽창량이 생겨 철근 등의 구속이 있을 경우 철근이 인장력을 받게 됨에 따라 그 반력으로 프리스트레스가 도입된다. 이 프리스트레스는 기존의 프리스트레스 공법과 달리, 팽창재와 시멘트의 수화반응에 의해 도입되는 것이므로 화학적 프리스트레스(Chemical Prestress)라고 부른다.⁽⁶⁾

팽창콘크리트는 크게 두 가지로 구분하는데 팽창재의 혼입량에 따라 크게 건조수축보상용 팽창콘크리트와 화학적 프리스트레스용 팽창콘크리트로 구분하며, 특히 일본에서는 이미 1965년에 팽창콘크리트를 실용화하여 현재 연간 6만톤 정

도 생산되어 현장 타설용 콘크리트는 물론 콘크리트 이차제품까지 토목공사 전반에 걸쳐 광범위하게 사용하고 있다.⁽⁴⁾ 우리 나라의 경우 1990년대 후반에 들어 팽창재를 수입시판하고 있는 실정이며, 앞으로 팽창재를 실용화할 경우 수밀성이 요구되는 암거나 통신구 등에 큰 효과를 볼 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 위에 언급한 팽창재의 특성을 재료시험을 통해 파악하고, 화학적 프리스트레스를 발생시키기 위한 최적의 팽창재 혼입량을 결정하여, 팽창콘크리트를 사용한 RC 슬래브를 제작하여 재하실험을 한 후, 균열하중 및 사용하중 상태에서의 복원력, 극한하중 등을 검토하여 실제 구조물에의 적용성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 재료시험

2.1.1 사용재료

1) 시멘트

국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용했으며, 화학 성분과 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties and chemical composition of cement

Physical properties			Chemical composition (%)					
Specific gravity	Ig. loss (%)	Insol. res. (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3.15	1.0	0.9	22.1	5.1	2.9	64.3	1.2	1.7

* Ig. loss : Ignition loss

* Insol. res. : Insoluble residuum

2) 골재

잔골재는 비중 2.58, F.M=2.38인 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 비중 2.68, 최대 치수 25 mm 의 쇄석 골재를 사용하였다.

3) 팽창재

국내 D사의 팽창재를 사용하였으며 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical properties and chemical composition of expansive additives

Physical properties			Chemical composition (%)					
Specific gravity	Ig. loss (%)	Insol. res. (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
2.93	1.0	1.4	4.0	10.0	1.2	52.5	0.5	28.3

2.1.2 배합 설계

콘크리트의 배합은 340 kgf/cm²이상의 강도를 목표로 Table 3과 같이 배합설계를 하였다. 물시멘트비는 35.2%, 굵은 골재의 최대 치수는 25 mm, 공기량은 1.5%, 슬럼프는 8 cm, 잔골재율은 40.4%이고, 팽창재는 단위시멘트의 중량비로 혼입하였으며 팽창재 혼입량만큼 단위시멘트량을 감소시켰다.

2.1.3 양생 조건

CSA 팽창재는 수화반응에 의해 최종적으로 에트링자이트라는 침상 결정이 생성되어 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하고, 이러한 팽창재의 수화 반응은 양생 온도에 크게 영향을 받는다.^(2,3,4) 따라서 양생 조건을 증기양생 후 건조양생(이하 증기양생)과 표준양생 후 수중양생(이하 수중양생)의 두가지 방법을 실시하였다.

증기양생은 최고 온도 65 °C로 3시간을 유지시키고, 온도 상승과 하강시에는 콘크리트표준시방서⁽¹⁾의 규정에 따라 온도 경사를 시간당 25 °C 이하로 유지하였으며, 탈형 후 수분을 전혀 공급하지 않고 28일간 양생하였다. 수중양생은 상온에서 24시간 양생하여 탈형 후 수중에서 온도 20 °C를 유지하며 28일간 양생하였다.

2.1.4 구속 조건

팽창률 측정을 위해 10×10×38.5 cm(W×H

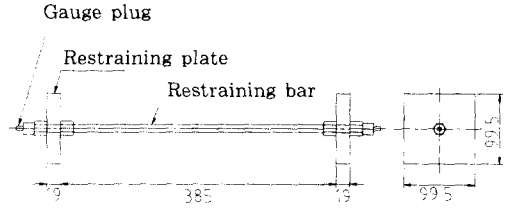


Fig. 1 Restraining mold

×L) 공시체를 제작하였으며, 구속 공시체의 경우는 KS F 2562와 일본 토목학회에서 발행한 팽창콘크리트 설계시공지침⁽⁷⁾의 시험규정에 따라서 철근비 0.95%의 Fig. 1과 같은 구속 기구를 사용하였다.

팽창률의 측정은 구속 공시체의 경우 정밀도 0.001 mm의 다이얼 게이지를, 무구속 공시체의 경우 매립형 스트레인 게이지를 이용하였다.

2.1.5 시험 사항

본 연구에서는 크게 3가지로 구분하여 재료시험을 하였는데, 첫째 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위해 압축강도, 휨인장강도, 탄성계수를 측정하였으며, 둘째 콘크리트의 작업성을 파악하기 위해 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 셋째 팽창재에 의한 팽창특성을 파악하기 위해 재령에 따른 팽창량률을 측정하였다. 그리고 시험 변수는 팽창재 혼입량, 양생 방법, 구속조건으로 하였다.

2.2 슬래브 휨 실험

2.2.1 사용재료

1) 콘크리트

콘크리트의 배합은 재료시험과 동일하게 하였으며, 팽창재는 재료시험을 통해 얻은 최적의 팽창재 혼입률에 따라 혼입하였다.

Table 3 Mix proportion

f _{ck} (kgf/cm ²)	W/C (%)	Proportion of Expansive additives (%)	G _{max} (mm)	Air (%)	Slump (cm)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
							W	C	S	G	Expansive Additives
340	35.2	0	25	1.5	8±2	40.4	169	629.3	1095.1	0	
		11								52.8	
		13								62.4	
		15								72	

2) 철근

시험체 제작에 사용한 철근은 D13, D16 두 종류를 사용하였으며, KS D 3504에 적합하고, 탄성계수는 2.04×10^6 kgf/cm² 이다. 또한, 시험체 제작에 사용한 철근 중 표본을 채취하여 인장강도 실험을 하였는데, D13은 $f_y = 5000$ kgf/cm², D16은 $f_y = 5200$ kgf/cm² 였다.

2.2.2 시험체 제원

모두 6개의 시험체를 제작하였으며, 시험체의 제원은 Fig. 2에 나타낸 것처럼 시험체의 총 길이는 220 cm 이고, 지간 길이가 200 cm, 폭이 30 cm 이다. 6개를 부재의 높이에 따라 20 시리즈와 15시리즈의 두 가지로 구분할 수 있으며, 실험 변수는 부재의 높이, 인장 철근량, 팽창재 혼입량이며, Table 4에 나타내었다.

Table 4 Specimen list

Specimen	Experimental parameter		
	Depth (cm)	Proportion of Expansive Additives (%)	Reinforcement
20-0-16	20	0	3D16
20-13-16		13	
20-13-13			3D13
15-0-16	15	0	3D16
15-13-16		13	
15-13-13			3D13

2.2.2 재하 방법, 변형률 및 처짐 측정위치

하중은 Fig. 2에서와 같이 60 cm 간격으로 2점 재하하였다. 재하방법은 복원력을 평가하기 위해 1 tf, 2 tf, 4 tf에서 각각 하중을 0 tf까지 제거하는 방법으로 반복재하 실험을 한후, 파괴하중까지 지속해서 재하하였다.

게이지의 부착은 인장철근의 지간 중심위치에 완전 방수를 하여 부착하였으며, 처짐은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 LVDT를 이용하여 3곳에서 즉, 지간 중심과 지점에서 지간중심으로 55cm 거리에서 측정하였다

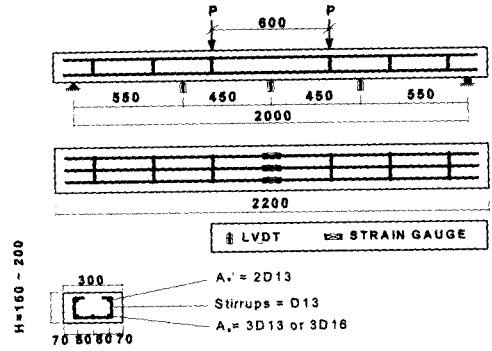


Fig. 2 Details of specimen

3. 실험 결과 및 분석

3.1 재료시험 결과

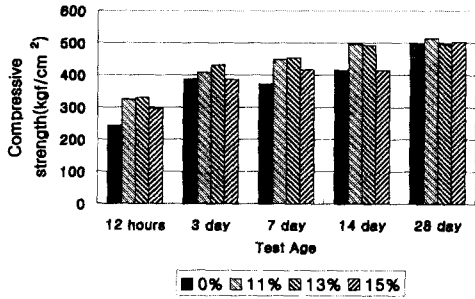
3.1.1 압축강도

Fig. 3는 팽창재 혼입량과 양생방법에 따른 각각의 재령에서의 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 나타난 것처럼, 탈형 직후에는 팽창재를 혼입하지 않은 공시체보다 11% 이상 팽창재를 혼입한 공시체의 압축강도가 수증양생과 증기양생에서 모두 크게 나타나고 있다. 이것은 수화반응 초기에 팽창재의 수화작용으로 생성된 에트링자이트가 콘크리트의 공극을 채워줌으로써 조적이 치밀해지므로 콘크리트의 압축강도 증가에 기여한다고 생각된다.⁽⁵⁾

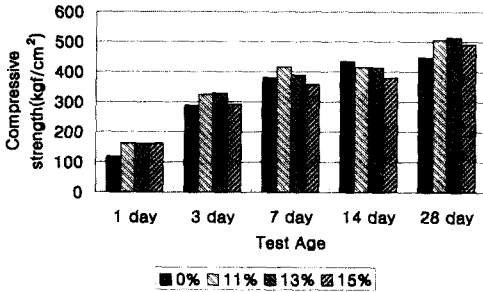
증기양생의 경우 수증양생의 경우보다 강도발현이 빠르지만 28일 강도의 경우에는 수증양생한 경우의 공시체의 압축강도와 증기양생한 공시체의 압축강도가 거의 차이를 보이지 않는다.

그리고, 본 배합 설계의 시험에서, 재령 28일에서는 증기양생과 수증양생의 경우 모두 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 팽창재 혼입량 15%까지는 콘크리트의 압축강도가 저하되지 않는다고 생각된다.

그리고, 재령 28일 이후의 장기 강도의 경우 본 실험에서는 측정하지 않았지만, ACI committee 223의 보고서⁽⁸⁾에 의하면 팽창콘크리트의 강도 발현 속도와 크기는 1종 또는 2종 보통 포틀랜드 콘크리트와 같다고 한다. 또한, Kazuo Togawa & Junji Nakamoto⁽⁹⁾의 실험에 의하면, 보통 콘크리트와 팽창콘크리트의 압축강도가 재령 100일 이후에도 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.



a) Steam curing at atmospheric pressure



b) Wet curing in water during 28 days
Fig. 3 Compressive strength

3.1.2 파괴계수

Fig. 4을 보면 팽창재 혼입량이 증가할수록 휨인장강도가 약간 감소하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 콘크리트의 파괴계수는 압축강도와는 달리, 시멘트 풀과 골재의 부착력에만 의존하기 때문에, 팽창재를 혼입하면 시멘트 풀과 골재의 부착력이 팽창재의 팽창력에 의해 감소한다. 그리고 팽창콘크리트는 팽창재 혼입량만큼 단위시멘트량을 감소시켜 배합하기 때문에 파괴계수가 감소할 수 있다. 하지만 본 연구의 콘크리트 배합에서는 파괴계수의 저하가 미미하다는

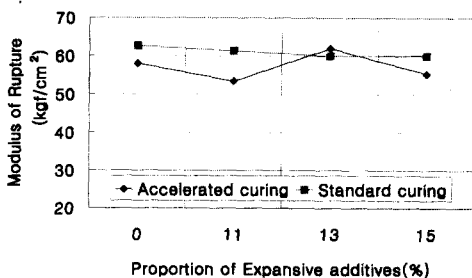


Fig. 4 Modulus of rupture

것을 알 수 있다.

3.1.3 탄성계수

Fig. 5는 팽창재 혼입량에 따른 탄성계수의 그래프를 나타낸 것이다. 탄성계수의 측정은 와이어 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였으며 최대강도의 1/2지점에서 활선 탄성계수를 측정하였다.

일반적으로 콘크리트의 탄성계수는 콘크리트의 압축강도 및 단위중량과 상관관계가 있다. 팽창콘크리트의 경우에도 일반콘크리트와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 즉, 압축강도가 증가할수록 탄성계수도 증가하는 경향을 나타냈으며, 표준 콘크리트 시방서의 제안 식으로 구한 이론 값과 거의 일치하였다.

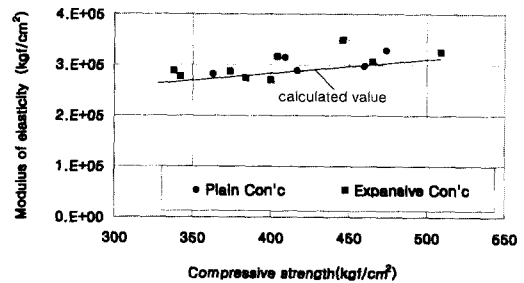


Fig. 5 Modulus of elasticity

3.1.4 슬럼프 및 공기량

Fig. 6 와 Fig. 7을 보면 팽창재 혼입량이 증가할수록 슬럼프 및 공기량이 다소 증가하는 경향이 있지만 작업성에는 거의 영향이 없는 것으로 판단된다.

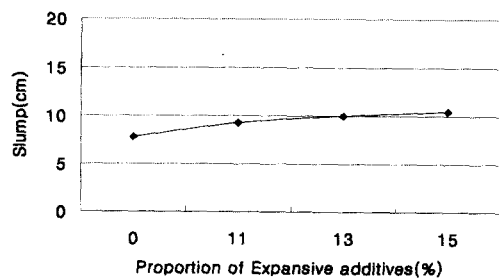


Fig. 6 Variation of slump

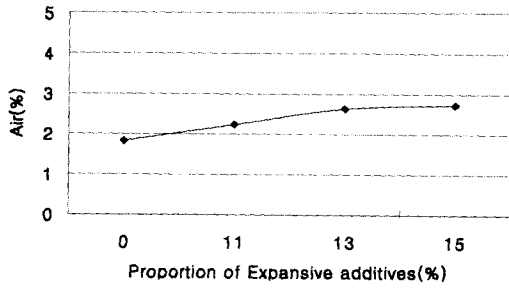


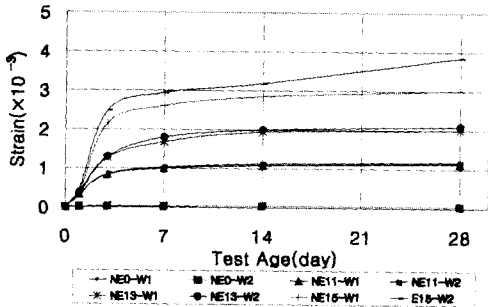
Fig. 7 Variation of air

3.1.5 무구속 팽창률

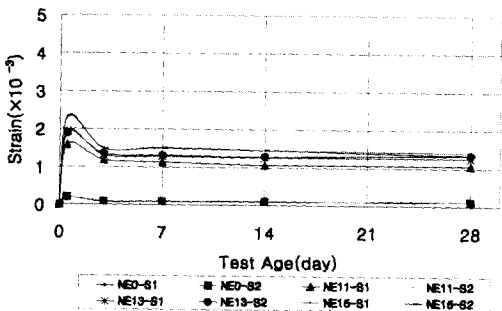
Fig. 8의 a는 28일간 수증양생한 공시체의 팽창률을 나타낸 것인데 탈형 후 재령 7일까지 꾸준히 팽창하는 것을 알 수 있다.

그러나 Fig. 8 b처럼 탈형 후 수분을 공급하지 않고 양생한 경우 탈형 후 팽창하지 않고 급격하게 수축한다.

따라서, 화학적 프리스트레스를 얻기 위해서는 탈형 후 최소 7일간 충분한 수분을 공급하는 것이 필요하다고 판단된다.



a) Wet curing in water during 28 days

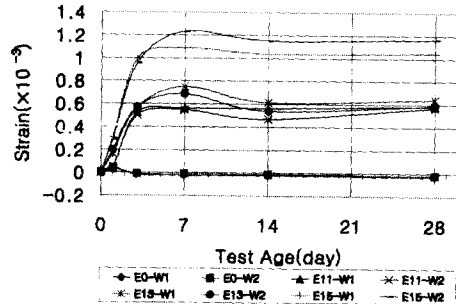


b) Steam curing at atmospheric pressure

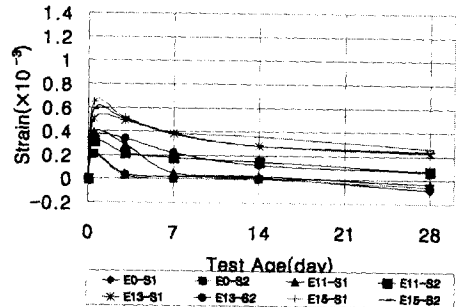
Fig. 8 Strain of unrestrained specimen

3.1.6 구속 팽창률

구속 팽창률도 수증양생과 증기양생 경우 모두 무구속 팽창률과 경향이 비슷하게 측정되었다. 그렇지만 팽창률은 1/3수준이었다. 특히, 팽창재 혼입량 15%의 경우 Fig. 9의 a를 보면 팽창률이 1.0×10^{-3} 을 초과하였기 때문에 콘크리트에 균열이 발생할 수 있다. 따라서 팽창재 혼입량 15%는 부적절하며, 팽창재 혼입량 13%가 본 연구의 콘크리트 배합에서는 최적의 혼입량이라고 판단된다.



a) Wet curing in water during 28 days



b) Steam curing at atmospheric pressure

Fig. 9 Strain of restrained specimen

3.2 슬래브 휨 실험 결과

3.2.1 균열하중 및 극한하중

Fig. 10은 6개 시험체의 하중-처짐 곡선을 나타낸 그래프이다. 20시리즈 시험체와 15시리즈 시험체 모두 균열 전에는 강성이 일정함을 알 수 있다. 그러나 균열이 발생하면 강성이 균열 전에 비해 작아 지고, 15-13-13 시험체는 강성이 다른 시험체에 비해 크게 작아지는 것을 알 수 있다. Table 5는 각 시험체에 대한 균열 하중과 극한 하중을 실험값과 이론 값으로 비교해 놓은 것

Table 5 Cracking load and ultimate load

(ton)

Specimen	P_{cr}				P_u			
	exp. P_{cr}	r_{cr}	cal. P_{cr}	exp. $P_{cr} /$ cal. P_{cr}	exp. P_u	r_u	cal. P_u	exp. $P_u /$ cal. P_u
20-0-16	2.853	1.000	2.306	1.237	15.760	1.000	11.860	1.329
20-13-16	3.960	1.388	2.220	1.734	15.340	0.973	11.706	1.310
20-13-13	3.160	1.107	2.162	1.461	11.210	0.711	7.420	1.510
15-0-16	1.05	0.368	1.177	0.892	8.890	0.564	7.434	1.196
15-13-16	1.23	0.431	1.109	1.109	8.250	0.523	7.280	1.133
15-13-13	1.12	0.392	1.106	1.012	6.720	0.426	4.706	1.427

이다.

Table 5에서 r_{cr} 및 r_u 는 기본시험체인 20-0-16 시험체의 실험 값과 비교한 것이다. 균열하중의 경우 20-13-16 시험체가 기본시험체인 20-0-16 시험체보다 약 40% 증가한 것으로 나타났고, 20-13-13 시험체의 경우 균열하중이 기본시험체인 20-0-16의 10% 정도 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 팽창재를 13% 혼입했을 경우 화학적 프리스트레스 작용으로 균열하중이 증가했음을 의미하는 것이다. 그리고 이러한 화학적 프리스트레스의 크기는 구속 철근량과 상관 관계가 있다는 것을 나타낸다.

그리고 단면이 작아진 15시리즈 시험체의 경우, 균열하중 및 극한하중이 기본 시험체의 50% 정도이다. 따라서 팽창재의 화학적 프리스트레스 효과가 단면을 줄일 수 있는 정도의 큰 효과가 아님을 알 수 있다.

3.2.2 처짐

팽창콘크리트의 처짐은 Fig. 10과 Table 6에 나타내고 있다. Table 6에 나타낸 것처럼, 기본 시험체인 20-0-16에 비해서 팽창재를 13% 혼입한 20-13-16 시험체가 균열발생이후인 4tf, 6tf, 8tf 모두 처짐이 작게 측정되었고, 20-13-13 시험체는 기본 시험체에 비해 철근량을 36% 줄였음에도 불구하고 균열 발생이후에도 처짐량이 기본시험체와 비슷하게 측정되었다.

그리고, 15시리즈 시험체의 경우, 팽창재를 혼입했다하더라도, 기본시험체인 20-0-16에 비해 처짐이 크게 측정되었다. 이것은 화학적 프리스트레스의 크기가 단면 크기나 철근량을 감소시킬 수 있을 만큼의 구조적인 효과는 없음을 나타낸다.

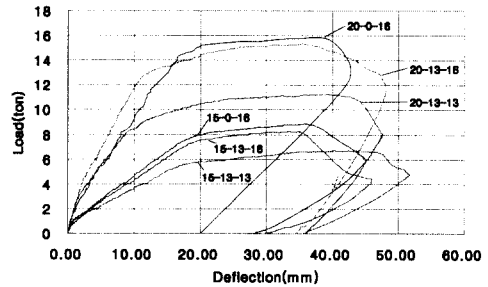


Fig. 10 Load-deflection relationship at midspan

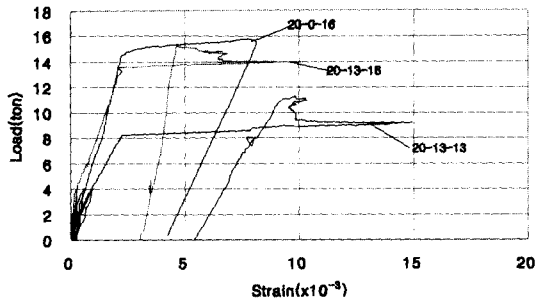
Table 6 Deflection (mm)

Specimen	Load step(ton)				
	1	2	4	6	8
20-0-16	0.4	1.0	3.1	6.2	7.9
20-13-16	0.4	1.0	2.2	4.3	6.3
20-13-13	0.4	1.0	3.2	5.9	8.7
15-0-16	1.4	3.5	8.4	13.3	-
15-13-16	0.8	3.7	9.0	14.8	-
15-13-13	0.9	4.5	11.5	-	-

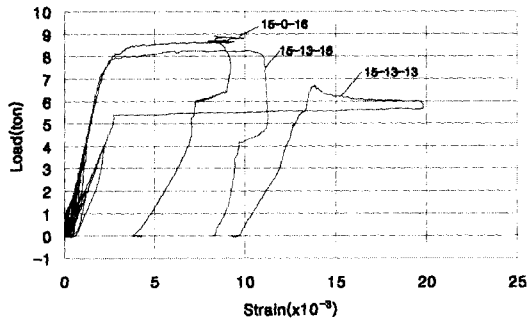
그러나, 단면 크기와 철근량이 동일한 경우에는 화학적 프리스트레스에 의해서 상대적으로 처짐량을 작게 할 수 있다고 판단된다.

3.2.3 복원력

콘크리트 부재의 복원력은 일반적으로 활하중이 완전히 제거되었을 경우의 잔류 변형량의 크기로 판단 할 수 있다. Fig. 11의 a 와 b 는 20시리즈 시험체와 15시리즈 시험체의 인장 철근의 변형률을 나타낸 그래프이다. 하중 재하 초기, 즉 1tf, 2tf, 4tf에서 하중을 제거하고 다시 가력하는 방법으로 반복하중을 가하여 잔류 변형률을 측정하였는데, 15-13-13시험체를 제외하고는 팽창재를 혼입한 시



a) 20 series specimen



b) 15 series specimen

Fig. 11 Load-Strain relationship of reinforcement at midspan

Table 7 Permanent strain according to load step
($\times 10^{-3}$)

Specimen	Load step (ton)					
	1		2		4	
	Strain	R	Strain	R	Strain	R
20-0-16	0.033	1.000	0.120	1.000	0.260	1.000
20-13-16	0.008	0.242	0.049	0.408	0.072	0.277
20-13-13	0.011	0.333	0.081	0.675	0.103	0.396
15-0-16	0.152	4.606	0.318	2.650	0.388	1.492
15-13-16	0.147	4.454	0.259	2.158	0.287	1.104
15-13-13	0.038	1.151	0.327	2.725	0.485	1.865

험체가 잔류 변형률이 기본 시험체에 비해 작게 측정되었다. 특히, Table 7을 보면 균열발생 후인 4 tf에서 하중을 제거하고 잔류변형을 측정한 것을 비교하였는데, 균열이 발생했음에도 잔류 변형률이 작음을 알 수 있다. 이것은 균열 발생 후에도 화학적 프리스트레스가 작용하는 것으로 판단된다.

3.2.4 사용하중 및 안전율

현행 콘크리트 시방서에서는 허용처짐량을 규정하여 구조물의 사용성 및 내구성에 손상을 주지 않도록 조치하고 있다. 따라서 허용처짐량에서의 하중을 사용하중으로 간주하고 사용하중에 대한 극한 하중의 비율(P_u / P_w)을 구하는 것은 구조물의 안전성 또는 안전율을 판단 할 수 있는 중요한 근거 자료가 될 수 있다고 판단된다.

현재 허용처짐량은 1/360 이하이어야 한다고 콘크리트 시방서에서 규정하고 있으며 이에 따라 시험체의 허용처짐량은 $1/360 = 200/360 = 0.56$ cm 이다. 따라서 Table. 8에서 각 시험체별 사용하중 P_w 는 하중-처짐 곡선에서 처짐량 0.56cm에서 구한 하중이다.

Table 8에서 보면, 20-13-16 시험체의 경우 사용하중이 기본 시험체인 20-0-16에 비해 25% 증가하였으며, P_u / P_w 값이 2.116이므로 비교적 안전측에 속하기 때문에, 사용성이 기본 시험체에 비해 우수하다고 판단된다.

20-13-13 시험체는 기본 시험체에 비해 주철 근량을 36% 감소시켰음에도 불구하고 사용하중은 비슷하고, P_u / P_w 값이 1.894로 기본 시험체의 P_u / P_w 값 2.738에 비해 30% 정도 감소하였다.

15시리즈 시험체는 기본 시험체에 비해 단면의 높이를 5cm 감소시킨 것으로서 단면적을 25% 감소시킨 대신 팽창재를 혼입한 것인데, 기본시험체인 20-0-16에 비해 사용 하중 및 극한 하중이 50%이상 감소하였다. 이것은 팽창재를 혼입하여 화학적 프리스트레스를 발생시키더라도 콘크리트 슬래브의 단면을 축소시키는 것은 구조적으로 바람직하지 않다는 것을 나타낸다.

Table 8 Service load and safety factor
(ton)

Specimen	P_w	γ_w	P_u	γ_u	P_u / P_w
20-0-16	5.755	1.000	15.760	1.000	2.738
20-13-16	7.250	1.230	15.340	0.973	2.116
20-13-13	5.920	1.027	11.210	0.713	1.894
15-0-16	2.400	0.417	8.890	0.564	3.704
15-13-16	2.580	0.448	8.250	0.523	3.197
15-13-13	2.320	0.403	6.720	0.426	2.896

이상과 같이 동일한 단면과 철근량일 경우 사용하중이 25% 이상 증가하므로 콘크리트 성능이 개선됨을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 팽창콘크리트의 재료 특성을 시험을 통해 최적의 팽창재 혼입량을 결정하여, 팽창콘크리트를 사용하여 총 6개의 RC 슬래브를 제작하여 재하실험을 하였으며, 그 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구의 콘크리트 배합을 기준으로 할 때 팽창재의 혼입량이 증가하면 콘크리트의 팽창량은 증가하나, 팽창재를 시멘트 중량의 15% 이상 치환하여 혼입하면 콘크리트의 팽창이 과도해지는 경향이 있다. 따라서 본 연구의 콘크리트배합에서 최적의 팽창재 혼입량은 13%이며, 이 혼입량은 콘크리트의 압축강도와 파괴계수가 저하되지 않으면서 최대의 화학적 프리스트레스를 얻을 수 있는 최적의 혼입량이라고 할 수 있다.
- 2) 팽창콘크리트의 양생은 팽창재의 수화반응이 지속적으로 일어나 콘크리트가 충분히 팽창하여 필요한 화학적 프리스트레스를 도입하기 위해서는 증기양생 후 최소 7일간 충분한 수분을 공급해 주어야 한다.
- 3) 팽창콘크리트 슬래브는 단면의 크기 및 인장 철근량이 동일한 경우 균열하중이 일반 콘크리트 슬래브보다 10%에서 40% 정도 크게 나타나고 있다.
- 4) 허용처짐량에서의 사용하중과 극한 하중을 비교하여 안전율을 검토한 결과 팽창콘크리트는 일반콘크리트와 단면의 크기 및 철근량이 동일하다면, 사용하중은 7%~23% 정도 증가하였고 안전율이 1.8이상으로 우수하다고 판단 된다.

- 5) 팽창콘크리트 슬래브는 처짐이 단면의 크기와 철근량이 동일하다면, 일반 콘크리트 슬래브 보다 작고, 하중제거시 잔류 변형도 일반 콘크리트에 비해 작다.
- 6) 위의 결론을 종합하면 팽창콘크리트는 건조 수축에 의한 균열을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 화학적 프리스트레스에 의해 처짐 및 잔류 변형률의 크기를 감소시켜 사용하중이 증가하므로, 일반콘크리트의 재료적, 구조적 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단 된다.

감사의 글

이 논문은 토암산업(주)와 공동연구의 일부이며, 재료 시험에 협조해 준 동양중앙연구소에 감사드립니다

참고문헌

1. 건설교통부, "콘크리트 표준 시방서," 1996
2. 동양중앙연구소, "콘크리트혼화재료로서의 에트링자이트 이용"
3. 동양시멘트(주), "동양CSA 메뉴얼".
4. 이선우, 김남호, "CSA팽창재의 콘크리트에 사용," 콘크리트학회지, 제8권, 6호, pp59~66, 1996
5. 성하영, "팽창시멘트를 사용한 콘크리트 부재의 화학적 프리스트레싱," 석사학위 논문, 인하대학교 토목공학과, 1997.
6. 한국도로공사, "팽창콘크리트".
7. 日本土木學會, "膨脹コンクリート設計施工指針," 1993, 第1版
8. ACI Committee 223, "Expansive Cement Concrete - Present State of Knowledge," ACI Journal, August 1970
9. Kazuo Togawa & Junji Nakamoto, "膨脹コンクリートのクリーフ特性に關する基礎的研究," 日本土木學會論文報告集, 第304号, 1980

요 약

팽창콘크리트는 수화반응에 의해 팽창수화물을 생성시킴으로서 건조수축에 의한 균열을 방지할 수 있다. 이와 같은 이점 때문에 팽창콘크리트는 일본 및 선진국에서는 토목공사 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있으나 국내에서는 최근에 팽창재를 수입 시판하고 있는 실정이며 시공 실적이 드물다. 본 연구에서는 팽창콘크리트의 재료시험을 통해 특성을 파악하고, 재료시험 결과를 토대로 최적의 팽창재 혼입량을 결정하여 팽창콘크리트를 사용한 RC 슬래브를 제작, 재하 실험을 한 후, 균열하중 및 사용하중상태에서의 복원력, 극한하중 등을 검토하였다.

재료시험결과, 본 연구의 콘크리트 배합에서 압축강도와 휨인장강도의 저하 없이 화학적 프리스트레스를 얻는데 충분한 팽창재 혼입량은 단위시멘트 중량의 13%이다. 그리고, 슬래브 휨 실험결과 팽창콘크리트 슬래브는 화학적 프리스트레스의 영향으로 일반콘크리트 슬래브에 비해서 처짐 및 잔류 변형률이 작고, 균열 하중 및 사용하중이 증가하였다.

(접수일자 : 2000. 2. 18)