팽창콘크리트를 사용한 RC 슬래브의 휨거동에 관한 연구

Flexural Behavior of RC Slabs with Expansive Concrete

박 홍 용* 김 철 영* 최 익 창** 이 호 석*** 배 상 욱****
Park, Hong Yong Kim, Chul Young Choi, Ik Chang Lee, Ho Suk Bae, Sang Wook

ABSTRACT

This study is performed to verify the effect of CSA expansive additives for concrete by material properties test and 4 point-bendig test of RC slabs. The result shows that the variations of compress strength, bending strength, and modulus of elasticity of expansive concrete are the same as those of plain concrete. And the crack load of RC slabs with expansive concrete are increased in comparision with that of plain concrete, but the ultimate strength of RC slabs with expansive concrete is decreased.

1. 서론

콘크리트는 인장강도가 압축강도에 비해 현저하게 낮은 결점을 갖고 있다. 이로 인해 인장부에 균열이 발생하면 미관상에 좋지 않으며, 특히 수밀성이 요구되는 암거나 부식이 우려되는 콘크리트구조물등에 균열이 발생하면 기능상, 내구성에 문제가 된다. 팽창콘크리트는 수화반응에 팽창수화물을 생성시킴으로서 수축에 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, 초기균열강도 및 사용하중상태에서의 복원력, 극한 강도등을 검토하였다.

2. 실험 개요

2.1 재료시험 시험체 제작

실험에 사용한 콘크리트 배합비는 Table.1과 같으며, 시멘트는 H사의 1종 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 모래(비중:2.60, F.M.=2.91), 굵은골재는 쇄석(비중:2.70, Gmax=25mm)을 사용하였다. 팽창재는 D사의 CSA팽창재(비중:2.93, 분말도:2.280cm^2/g)를 사용하였다. 실험 변수로 팽창재 혼입량 (0%, 11%, 13%, 15%), 양생 조건(수중양생, 증기양생), 구속조건을 설정하여 압축강도, 탄성계수, 휨인장강도, 팽

* 정회원, 명지대학교 SOC 공학부 토목·환경공학과 교수
** 정회원, 목포해양대학교 해양 및 조선 공학부 해양토목과 조교수
*** 정회원, (주)토안산업 부사장
**** 정회원, 명지대학교 SOC 공학부 토목·환경공학과 석사과정

창율을 측정하였다. 특히, 팽창재의 팽창작용은 양생조건에 의한 영향이 크기 때문에 수중양생과 증기양생 후 건조 양생방법의 두가지로 하여 양생방법에 따른 변화를 측정하였다. 시험은 KS F의 규정에 의거하여 실시하였다.

Table.1 Mix Proportion of Expansive Concrete

W/C (%)	G_{max} (mm)	Air (%)	Slump (cm)	S/A (%)	단위량(kgf/m^3)			
					W	C	S	G
35.2	25	1.5	8±2	40.4	169	480	629.3	1095.1

2.2 슬래브 제작

슬래브는 총 6개의 시험체를 제작하였으며, Table. 1의 재료시험과 같은 배합으로 레미콘을 이용했으며, 팽창제의 혼입율은 0%, 13% 이다(Table. 2 참조). 인장 철근은 D13과 D16을 사용했으며, E_s=2.04×10^{6}kgf/cm^{2}이고, D13 철근의 f_y는 5000kgf/cm^{2}이고, D16 철근은 5200kgf/cm^2 이다.

슬래브 시험체의 크기(총길이 220 cm, 지간 길이 200cm, 폭 30cm) 및 스트레인 게이지의 부착 위치는 그림 1에 나타낸 것과 같으며, 지간 중앙 및 1/4 지점에 처짐계를 설치하였다. 실험 변수로 부재의 높이(h)와 인장철근량(A_s), 팽창재 혼입량이다(Table. 2 참조).

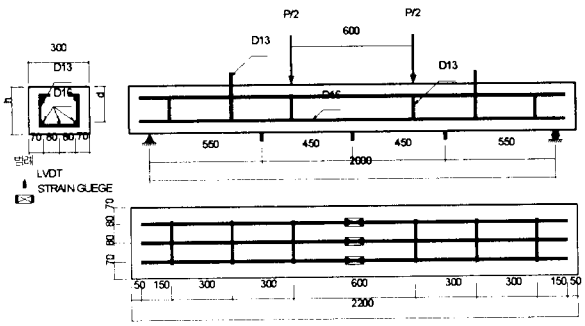

Fig. 1 Details of Specimens and Loading

Table. 2 Test Parameter

시험체	실 험 변 수		
	h (cm)	CSA(%)	주철근
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

3 결과 및 고찰

3.1 재료실험 결과

Fig. 2는 재령에 따른 압축강도를 나타낸 것으로, 증기양생이 초기 강도발현이 크게 나타내고 있으나 28일 강도는 거의 일치하고 있다. 또한 28일 강도는 팽창재의 혼입량 13%의 경우의 압축강도가 가장크게 나타나고 있다. Fig. 3는 증기양생과 수중양생에서 팽창재의 혼입율에 따른 휨강도를 나타내고 있으며, 증기양생에서 휨강도가 미미한 정도로 작게 나타나고 있다. Fig. 4는 압축강도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 것으로, 일반콘크리트와 팽창콘크리트에서 동일하게 압축강도가 증가함에 따라 탄성계수는 증가하는 경향을 보인다.

무구속 공시체의 팽창율은 매립형 게이지를 이용하여 측정하였으며, Fig. 5는 팽창율의 경시변화를 나타낸 것이며, 증기양생의 경우에는 증기양생중에 팽창율이 급격히 증가하였으며, 이후 수축하는 경향을 보이고 있으며, 수중양생의 경우는 팽창율이 재령3일까지 급격히 증가하나 재령3일 이후에는 증가량이 현저하게 둔화됨을 나타내고 있다. 이와 같이 증기양생과 수중양생에서 팽창율의 경시변화가

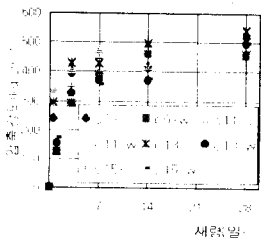

Fig. 2 Compressive Strength

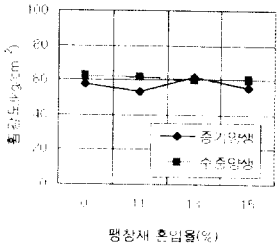

Fig. 3 Flexural Strength

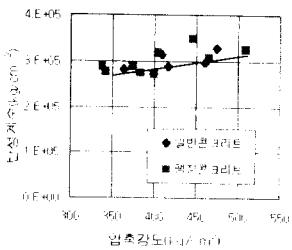

Fig. 4 Modulus of Elasticity

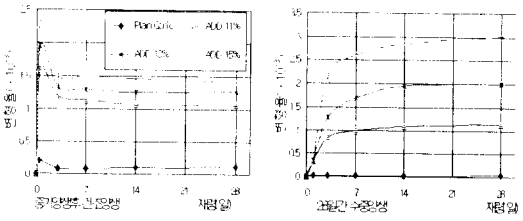

Fig.5 Strain in Specimin with Restrain

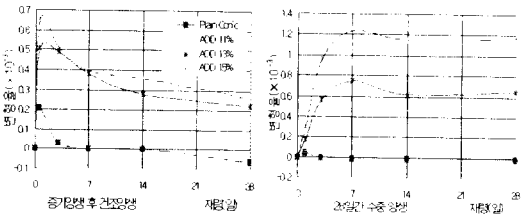

Fig.5 Strain in Specimin without Restrain

다른 양상을 보이는 것은 수중양생에서는 수분공급이 지속적으로이루어 지고 있으나, 증기양생의 경우에는 증기양생후에 건조양생을 함으로서 수분공급이 되지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서 팽창콘크리트에서 양생중에 지속적인 수분공급이 매우 중요함을 알 수 있다. 팽창율은 팽창재의 혼입량이 증가함에 따라 증가함을 보이고 있으며, 수중양생의 팽창재 15%의 혼입율의 경우의 팽창율은 3.0×10^{-3} 이상이다. Fig. 6은 구속 공시체의 팽창율의 경시변화를 나타낸 것이며, 경시변화의 경향은 무구속 공시체와 같으나, 팽창율은 0.3~0.4배 정도를 나타내고 있다. 이와 같이 팽창재를 혼입한 콘크리트에서는 양생중에 팽창이 발생하여 콘크리트에는 압축응력을 구속재에는 인장응력을 발생시키는 Chemical Prestress 부재로서 사용이 가능하리라 생각된다.

이상의 재료시험을 종합하여, 팽창재 혼입량 13%가 부재의 역학적 특성에 악영향을 미치지 않으며 부재의 균열방지책으로 가장 적당한 것으로 판단된다.

3.2 슬래브 실험 결과

슬래브에 사용된 콘크리트의 압축강도와 탄성계수는 일반콘크리트의 경우 f_{ck}=424kgf/cm^2, E_c=302507kgf/cm^{2}이고, 팽창콘크리트의 경우 f_{ck}=373kgf/cm^2, E_c=285665 kgf/cm^{2}이다.

실험결과 팽창콘크리트를 이용한 부재의 균열하중이 일반콘크리트를 이용한 부재보다 1.2~1.4배정도 증가하였으나 Chemical Prestress의 영향으로 인장철근에 초기 인장변형이 발생하여 극한하중은 다소 감소하였다(Table. 3 및 Table. 4 참조). Fig. 7 은 하중-인장철근 변형율 곡선을 나타낸 것이다. 가력 후 1t, 2t, 4t에서 하중을 제거하였을 때의 영구변형율로 슬래브의 복원력으로 판단 할 수 있으며, Fig. 7에 나타낸 것과 같이 팽창콘크리트의 복원력이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 8는 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이며, 초기 휨강성이 팽창콘크리트 슬래브가 크게 나타나고 있으나 극한 상태에서는 거의 같은 거동을 보이고 있다. 허용처짐량(L/360=200/360=0.56cm)에서의 하중을 사용하중이라고 한다면, Table. 4에 나타낸 것과 같이 P_u/P_w(극한하중/사용하중)의 값이 팽창콘크리트가 일반콘크리트보다 다소 작지만 우수하며. 사용하중이 팽창콘크리트가 일반콘크리트보다 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

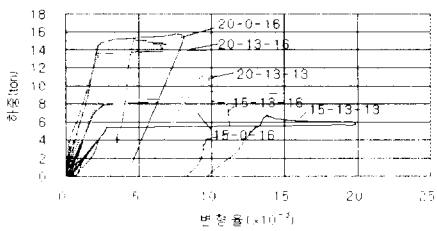

Fig. 7 Load-Strain Relation

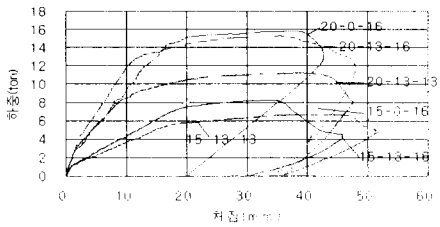

Fig. 8 Load-Deflection Relation

Table. 3 Crack Load and Ultimate Load

시험체	P_{cr}		P_u	
	P_{cr}	r_{cr}	P_u	r_u
20-0-16	2.853	1.000	15.760	1.000
20-13-16	3.960	1.388	15.340	0.973
20-13-13	2.720	0.953	11.210	0.711
15-0-16	1.05	0.368	8.890	0.564
15-13-16	1.23	0.431	8.250	0.523
15-13-13	1.12	0.393	6.720	0.426

Table. 4 Service load at Allowable deflection

시험체	P_w	γ_w	P_u	γu	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

4. 결론

본 연구는 팽창콘크리트의 재료 특성을 시험을 통해 최적의 팽창재 혼입량을 결정하여, 팽창콘크리트 슬래브를 제작하여 재하실험을 하였으며, 그 실험결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 팽창재의 혼입량이 증가하면 콘크리트의 팽창량은 증가하나, 혼입량이 많으면 콘크리트의 조직이 파괴되어 콘크리트 성능의 열화를 초래한다. 본 연구의 재료 실험에서 역학적 특성에 문제가 없으며, 팽창율을 크게 하여 Chemical Prestress를 도입하기 위해서는 팽창재 혼입량이 13%가 적당함을 알았다.
2. 팽창콘크리트의 양생은 팽창재의 수화반응이 지속적으로 일어날 수 있도록 최소 7일간 충분한 수분을 공급해 주어야 한다.
3. 팽창콘크리트 슬래브는 단면의 크기 및 인장철근량이 동일한 경우 균열 강도가 일반 콘크리트 슬래브보다 1.2~1.4배 정도 크며, 극한 강도는 다소 작다. 또한 초기 균열 강도의 증가, 처짐제어 능력과 복원력이 우수하여, 수화열 및 건조수축에 의한 균열을 억제할 수 있으므로 콘크리트의 품질 개선에 도움이 되리라 생각된다.

감사의 글

본 논문은 토암산업(주)와 공동연구의 일부이며, 토암산업(주)에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 日本土木學會,"膨脹コンクリート設計施工指針", 平成 5年, 第 1版
2. Hajime Okamura and Yukikazu Tzuji, " テシカルプレスト を導入した コンクリート部材の力學的特性", 日本土木學會論文報告集, 第225号, 1974, pp101~108,
3. 이선우, 김남호,"CSA팽창재의 콘크리트에 사용",콘크리트학회지, 제 8권, 6호, pp 59~66