

신축이음장치의 앵커 인발성능 평가 및 나사 풀림 방지를 위한 앵커시스템 개발

Pullout capacity Evaluation of anchor and anchor system development to prevent release of anchors in expansion joint

하 상 수*

Ha, Sang-Su

Abstract

The failure of expansion joints for bridges generally occurs in non-shrinkage mortar another problem is the release of anchors in expansion joints due to the impact and vibration that occurs when cars are driving over a bridge. In this study, to overcome the failure of expansion joints that is related to the failure of non-shrinkage mortar, an elastomeric mortar has been developed. The elastomeric mortar has a highly developed pull-out capacity compared with that of non-shrinkage mortar. Moreover, an anchor system that can be changed easily and prevent the fracture of expansion joints has been developed.

Keywords : Expansion joint, Non-shrinkage mortar, elastomeric mortar, anchor system

1. 서론

교량용 신축이음장치의 파손유형은 크게 무수축 모르타르(후타재)의 손상에 의한 것과 신축이음장치를 후타재에 고정하기 위하여 사용되는 앵커 풀림현상에 의한 것으로 대별된다. 무수축 모르타르의 손상은 신축이음장치에서 가장 빈번하게 발생되며 신축이음장치의 성능에 관계없이 무수축 모르타르의 상태에 따라 그 수명이 결정된다. 실제 현장에서는 무수축 모르타르가 손상된 경우 무수축 모르타르만 보수하는 경우는 극히 드문 일이며, 후타재가 일부 파손되더라도 신축이음장치 전체를 교체해야 하기 때문에 경제적인 큰 손실을 가져오게 된다. 따라서 본 연구에서는 차량의 반복적인 충격하중을 안전하게 흡수할 수 있는 탄성콘크리트(후타재)를 개발하고, 개발된 후타재의 압축강도, 극한변형률 등 재료적 물성을 파악하였다. 또한, 앵커 풀림현상은 차량 통과시 소음을 발생시키고, 위험을 초래할 수 있으므로 차량 통과시에는 앵커가 풀리지 않고, 해체 및 교체가 가능한 앵커 시스템 개발하였다. 신축이음장치의 앵커 시스템은 신축이음장치 상판과 후타재를 일체화시켜 주는 중요한 요소로서, 앵커의 인발성능 실험과 신축이음장치의 피로시험을 수행하여 안전성을 검증하였다.

2. 실험계획

2.1 재료 물성파악

신축이음장치에서 후타재는 주로 무수축 모르타르를 사용하고 있으나 차량의 반복적인 충격하중으로 인하여 손상을 자주 받는다. 이를 해결하기 위한 한 방안으로 반복과 충격을 완화시킬 수 있는 탄성콘크리트를 무수축 모르타르 대신 사용하는 것이다. 본 연구에서는 후타재를 신축이음장치에 적용할 수 있는 두 종류의 탄성콘크리트(CM계 모르타르, EC계 모르타르)를 개발하였으며, 개발된 탄성콘크리트의 재료적 물성을 파악하였다. 개발된 탄성콘크리트는 주재와 경화제(바인더)를 일정비율로 배합하고, 모래(4호사, 6호사), 시멘트, 탄산칼슘 등을 혼합하여 제조한다. CM계 모르타르와 EC계 모르타르의 배합비(중량비율)는 표 1.과 같다. 개발된 CM계 및 EC계 모르타르의 압축강도 등 재료적 물성을 파악하였다.

표 1. 후타재(CM계, EC계) 배합비

분류	CM계 모르타르	EC계 모르타르
주재 (%)	12.5	14.7
경화제 (%)	12.5	7.3
골재	4호사 (%)	34
	6호사 (%)	34
탄산칼슘 (%)	-	10
시멘트 (%)	18.6	-

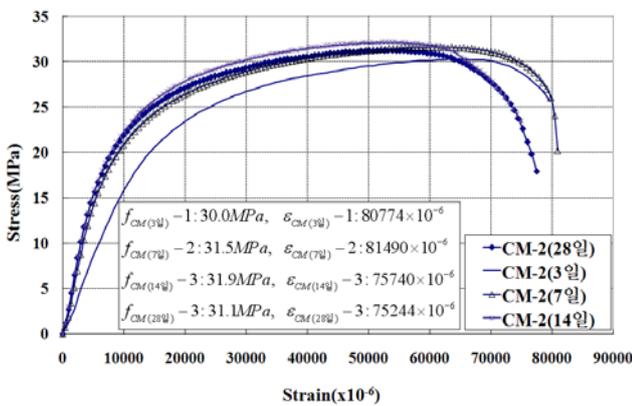
* 강남대학교 건축공학과 전임강사

표 1.에서 보는 바와 같이 EC계 모르타르는 바인더가 전체 배합비의 22%로 CM계 모르타르(25%)보다 적고, 골재는 오히려 68%로 CM계 모르타르에 비해 많이 배합되어 보다 경제적이랄 수 있다. CM계와 EC계의 두 종류의 모르타르를 3일, 7일, 14일, 28일 동안 양생시켜 각각 3개씩 시험하였다. 압축강도용 공시체는 KSF 2404에 따라 직경 100mm, 높이 200mm의 실린더형 몰드를 사용하여 제작하였으며, 압축강도 시험은 1,000kN 만능시험기(UTM)를 사용하여 실시하였다.

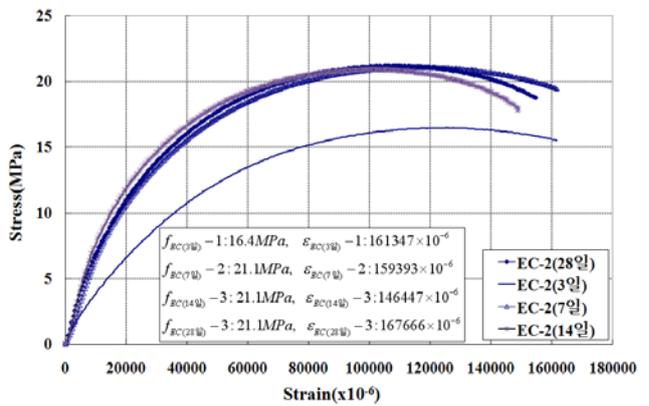
CM계와 EC계의 3일, 7일, 14일, 28일 압축강도 응력-변형률 곡선을 각각 비교하여 그림 1.에 각각 나타내었으며, 시험결과는 표 2.와 같다. 그림 1. 및 표 2.에서 보듯이 CM계 모르타르가 EC계 모르타르에 비해 압축강도 및 탄성계수가 높게 나타났으며, 양생 7일 이후부터는 거의 비슷한 거동을 보여주고 있다. 콘크리트에 비해 탄성계수는 1.5%~16% 정도로 매우 작은 값을 보이지만, 극한 변형률은 콘크리트에 비해 25배~50배 정도 매우 높게 나타나 탄성모르타르의 특성을 잘 보여주고 있다.

표 2. 압축강도 시험결과

종류	재령	시험체 명	단면적	최대하중 (P _u)	압축강도 (f _{ck})	극한 변형률 (ε _{cu})	0.5f _{ck}	0.5f _{ck} 에 상응하는 변형률	탄성계수	
			(mm ²)	(kN)	(MPa)	(x10 ⁻⁶)	(MPa)	(x10 ⁻⁶)	(GPa)	
CM 계	3일	CM3-1	7850	228.1	29.1	78131	14.53	9238	1.57	1.62
		CM3-2	7850	237.9	30.3	79646	15.15	9471	1.60	
		CM3-3	7850	240.2	30.6	84545	15.30	9065	1.68	
	7일	CM7-1	7850	245	31.2	77904	15.61	5889	2.65	2.63
		CM7-2	7850	248.3	31.6	80909	15.82	5899	2.68	
		CM7-3	7850	249.3	31.8	85656	15.88	6183	2.57	
	14일	CM14-1	7850	251.6	32.1	76288	16.03	4903	3.27	3.15
		CM14-2	7850	251.6	32.1	75000	16.03	5353	2.99	
		CM14-3	7850	247.8	31.6	75740	15.78	4925	3.20	
	28일	CM28-1	7850	242.4	30.9	71490	15.44	4431	3.48	3.18
		CM28-2	7850	245.4	31.3	77449	15.63	5187	3.01	
		CM28-3	7850	244.7	31.2	76793	15.59	5098	3.06	
EC 계	3일	EC3-1	7850	125.7	16.0	161010	8.00	28383	0.28	0.30
		EC3-2	7850	129.3	16.5	161616	8.24	27085	0.30	
		EC3-3	7850	131.6	16.8	161414	8.38	26224	0.32	
	7일	EC7-1	7850	165.0	21.0	157979	10.51	18656	0.56	0.55
		EC7-2	7850	165.6	21.1	162020	10.55	19688	0.54	
		EC7-3	7850	166.7	21.2	158181	10.62	19623	0.54	
	14일	EC14-1	7850	165.6	21.1	138030	10.55	16308	0.65	0.65
		EC14-2	7850	164.0	20.1	149090	10.45	16035	0.65	
		EC14-3	7850	167.2	21.3	152222	10.65	16660	0.64	
	28일	EC28-1	7850	166.7	21.2	168535	10.62	18657	0.57	0.58
		EC28-2	7850	166.4	21.2	167752	10.60	18935	0.56	
		EC28-3	7850	164.5	21.0	166691	10.48	16803	0.62	



(a) CM계 모르타르

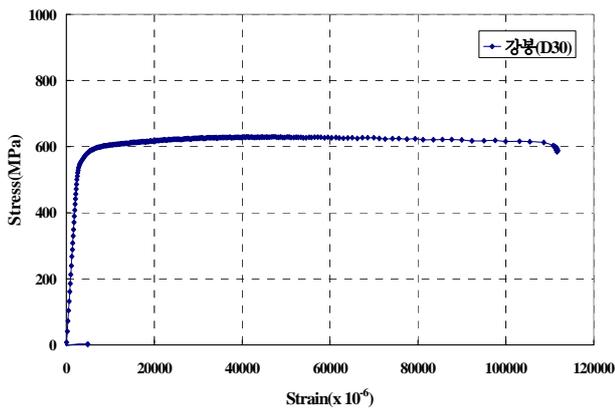


(b) EC계 모르타르

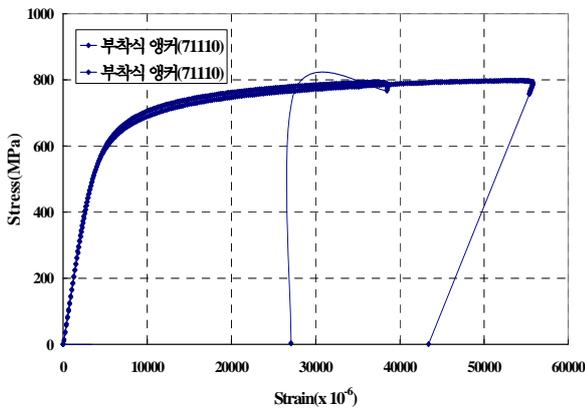
그림 1. 양생기간에 따른 응력-변형률 곡선비교

2.2 인발성능 및 실험

신축이음장치의 앵커는 후타재와 신축이음장치의 상판을 일체 화시키며, 차량통과시 앵커에 인발하중이 작용하므로 적절한 문 힘깊이를 확보하여야 한다. 문힘깊이가 크면 인발성능은 높아질 수 있으나 시공성 저하를 초래하므로 인발성능과 시공성을 고려하여 문힘깊이를 결정해야 한다. 본 연구에서는 문힘깊이를 앵커 지름의 10배와 15배로 계획하였으며, 앵커지름은 20mm를 사용하였다. 사용된 앵커는 그림 3(a)와 같으며, D30인 강봉(SS400)을 이용하여 전조 방식으로 제작하였다.



(a) D30 강봉



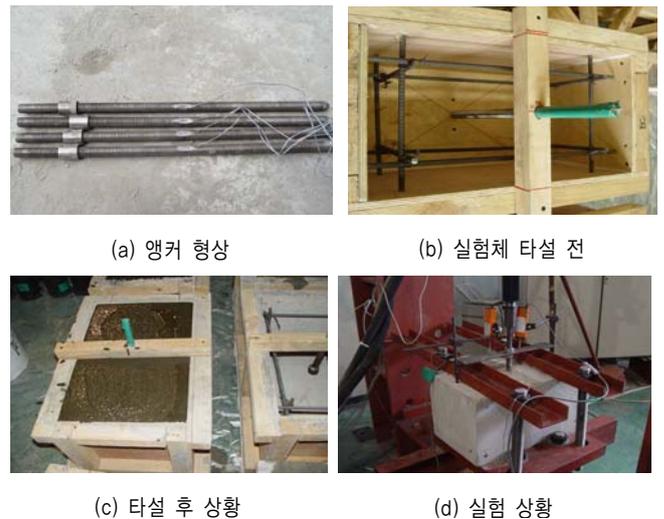
(b) 부착식 앵커

그림 2. 강봉 및 앵커의 응력도-변형도 곡선비교

표 3. 강봉 및 부착식 앵커 재료시험결과

분류	강봉(D30)	부착식 앵커
지름 (mm)	30	20
단면적 (mm ²)	706.5	314
항복강도 (MPa)	582	618
항복변형률 (x 10 ⁻⁶)	4,993	6,754
최대강도 (MPa)	627	790
최대변형률 (x 10 ⁻⁶)	111,584	55,800

D30 강봉과 전조 방식으로 나사선으로 제작한 부착식 앵커를 인장시험을 통해 얻은 응력도-변형률 곡선은 그림 2.와 같으며, 인장재료 시험결과는 표 3.에 나타내었다. 부착식 앵커의 인발성능을 파악하기 위하여 인발실험을 수행하였다. 실험체 형상은 300mm x 500mm x 300mm인 직육면체 모양의 거푸집 중앙에 계획된 문힘깊이 만큼 앵커를 설치하였다(그림 3. 참조). 실험체는 표 4.와 같이 후타재 종류(무수축 모르타르, CM계 모르타르, EC계 모르타르)와 문힘깊이(Ld=10d_b, 15d_b)를 변수로 하여 동일 실험체를 3개씩 계획하였다.



(a) 앵커 형상

(b) 실험체 타설 전



(c) 타설 후 상황



(d) 실험 상황

그림 3. 인발성능실험

표 4. 실험체 일람

실험체명	후타재	문힘 깊이(L)	앵커 지름(d _b)	앵커 항복강도	후타재 압축강도
		d _b , (mm)	mm	MPa	28일재령 MPa
Mor-10d _b (1)-(3)	무수축	10, (200)	20	618	40
Mor-15d _b (1)-(3)	모르타르	15, (300)	ditto	ditto	
CM-10d _b (1)-(3)	CM계	10, (200)	ditto	ditto	31
CM-15d _b (1)-(3)	모르타르	15, (300)	ditto	ditto	
EC-10d _b (1)-(3)	EC계	10, (200)	ditto	ditto	21
EC-15d _b (1)-(3)	모르타르	15, (300)	ditto	ditto	

실험은 그림 3(d)에 나타난 바와 같이 프레임에 실험체를 고정하고 1000kN 엑츄에이터와 실험체 밖으로 돌출된 앵커를 체결한 후 실험체가 파괴될 때까지 가력하였다. 실험체 표면에서 150mm 떨어진 위치(loaded end)에 2개의 변위계를 설치하였으며, 순수 미끄러짐 변위를 측정하기 위하여 앵커 하부(free end)에 변위계를 설치하였다. 또한, 앵커의 변형율을 측정하기 위하여 실험체 표면에서 50mm 떨어진 위치에 철근 변형계이저를 설치하였다.

실험체는 그림 4.와 같이 모두 뿔힘파괴에 의해 최종파괴 되었으며, 인발시 하중은 69.8kN~138.9kN 값(앵커의 재료시험에서 얻은 항복하중의 36%~72%의 수준)으로 나타났다. 이 값은 앵커 하나당 받는 인발시 하중으로 신축이음장치에 차량이 통과하는

하중이 116.6kN 보다 작은 값을 가지나, 차량 폭 내에 앵커를 2~3개 정도 설치 가능하므로 충분히 안전한 값을 확보할 것으로 판단된다. 각 실험체의 하중단(loaded end)에서의 응력도 변위 곡선을 그림 5.에 나타내었으며, 실험결과는 표 5.와 같다.



(a) 무수축 모르타르

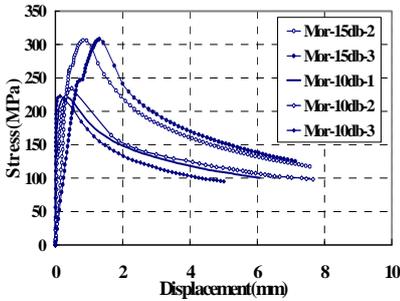


(b) 탄성콘크리트 (CM계)

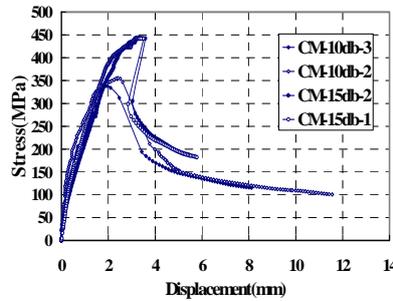


(c) 탄성콘크리트 (EC계)

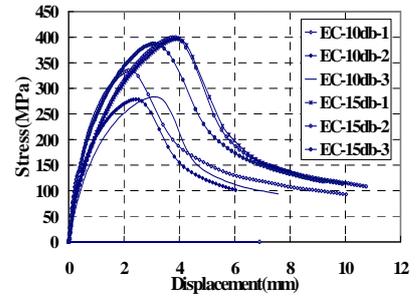
그림 4. 실험체 파괴사진



(a) 무수축 모르타르



((b) 탄성콘크리트 (CM계)



(c) 탄성콘크리트 (EC계)

그림 5. 응력도 변위 곡선

표 5. 실험결과

실험체명	최대 하중	최대하중시 변위	응력 f_s	변형률	A	f_y	f_s/f_y	파괴모드
	kN	mm	MPa	micro	(mm ²)	MPa		
Mor-10db(1)	69.8	0.51	222.2	1741	314	617	0.36	뿔힘파괴
Mor-10db(2)	73.6	0.67	234.5	1811	314	ditto	0.38	뿔힘파괴
Mor-10db(3)	70.0	0.41	223.0	1308	314	ditto	0.36	뿔힘파괴
Mor-15db(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Mor-15db(2)	96.1	0.93	306.1	2069	314	ditto	0.50	뿔힘파괴
Mor-15db(3)	96.8	1.31	307.0	2228	314	ditto	0.50	뿔힘파괴
CM-10db(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
CM-10db(2)	111.5	2.41	355.2	3324	314	ditto	0.57	뿔힘파괴
CM-10db(3)	106.2	1.97	337.8	3028	314	ditto	0.55	뿔힘파괴
CM-15db(1)	138.7	3.52	441.6	-	314	ditto	0.71	뿔힘파괴
CM-15db(2)	138.9	3.59	442.2	-	314	ditto	0.72	뿔힘파괴
CM-15db(3)	-	-	-	-	-	-	-	-
EC-10db(1)	105.4	2.15	335.5	3265	314	ditto	0.54	뿔힘파괴
EC-10db(2)	87.5	2.43	278.7	2717	314	ditto	0.45	뿔힘파괴
EC-10db(3)	89.0	3.06	283.5	2352	314	ditto	0.46	뿔힘파괴
EC-15db(1)	124.6	3.90	396.9	5091	314	ditto	0.64	뿔힘파괴
EC-15db(2)	125.5	3.87	399.8	4876	314	ditto	0.65	뿔힘파괴
EC-15db(3)	121.6	3.12	387.2	4285	314	ditto	0.63	뿔힘파괴

동일 조건에서 문힘깊이가 큰 실험체가 작은 실험체에 비해 인발하중이 높게 나타났으며, 그림 5.에 나타난 바와 같이 최대하중을 받은 이후에는 슬립에 의해 하중이 급격하게 저하되는 것을 알 수 있다. 수축 모르타르를 후타재로 사용한 실험체에 비해 탄성콘크리트를 후타재로 사용한 실험체가 더 우수한 인발성능을 보여 주고 있다.

3. 앵커 시스템 개발

3.1 앵커풀림현상 검증 실험

신축이음장치의 앵커는 후타재와 신축이음장치를 일체화시키며, 차량통과시 앵커에 인발하중이 작용하므로 적정한 문힘깊이를 확보하여야 한다. 문힘깊이가 크면 인발성능은 높아 신축이음장치와 후타재를 연결하는 앵커는 지름 40mm, 두께 23mm인 원형에 앵커에 맞는 암나사로 된 캡에 체결된다(그림 6(a)참조). 또한, 캡은 신축이음장치의 상판에 캡과 동일한 크기의 홈 속에 위치한 후, 캡과 상판을 관통하는 지름 15mm의 홈을 내서 용접하게 된다(그림 6(b)참조). 따라서 후타재에 매립된 앵커는 캡의 나사선으로 고정되고, 캡은 신축이음장치의 상판에 용접되므로 지속적인 반복하중에 의한 나사 풀림현상은 발생되지 않을 것으로 판단된다.



(a) 앵커 및 캡 (b) 캡 고정(용접)



(c) 앵커 체결



(d) 피로시험체(타설전)

그림 6. 앵커 시스템

나사 풀림 현상이나 앵커를 체결한 부분에서 손상여부를 파악하기 위하여 피로시험을 수행하였다. 피로시험을 후타재를 무수축 모르타르를 사용한 것과 EC계의 탄성콘크리트를 사용한 것을 대상으로 하였다.



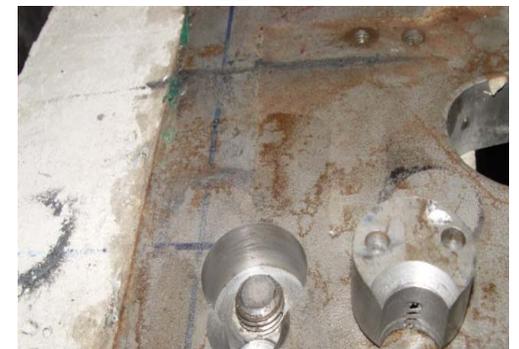
(a) 피로시험체



(b) 피로시험

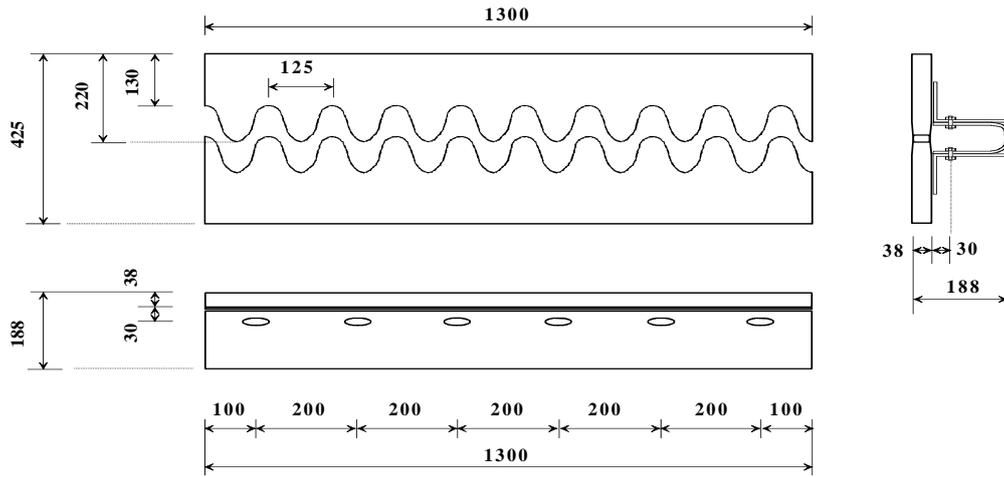


(c) 시험 후 실험체

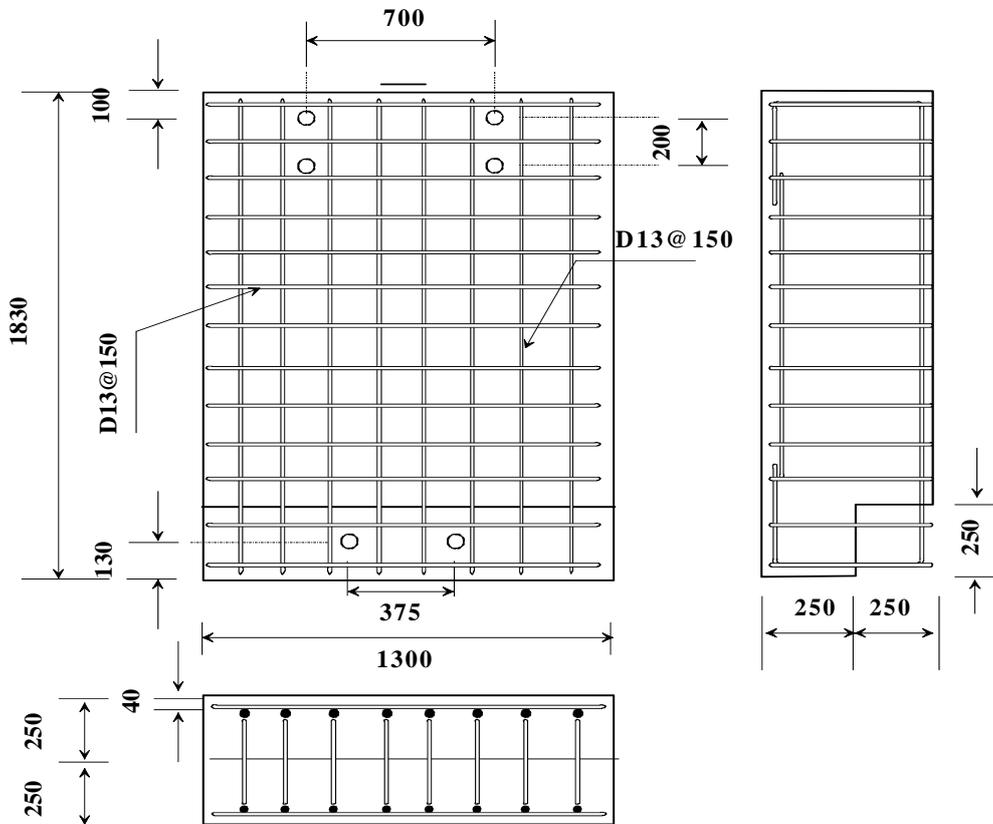


(d) 앵커 분리 확인

그림 7. 피로시험 및 앵커 분리 확인



(a) 신축이음장치 형상 및 치수(unit : mm)



(b) 거푸집 및 철근 배근상황(unit : mm)

그림 8. 실험체 형상 및 배근상황(본 실험체)



(a) 거푸집 제작



(b) 후타재용 거푸집



(c) 신축이음장치 설치



(d) 후타재 양생

그림 9. 실험체 제작과정

피로시험은 교량 신축이음장치 시험방법(KS F 4425)에 따라 최소 22,54kN, 최대 116.6kN 하중을 3Hz 이하의 주파수로 2,000,000회 시험한 후 손상여부를 육안으로 확인하였다. 피로시험체 및 피로시험 상황 그리고 실험 후 실험체를 그림 7.에 나타내었다. 실험 후 실험체를 모두 확인해 본 결과 앵커를 체결한 부분에서의 손상은 확인되지 않았다. 또한, 앵커의 캡을 제거하여 앵커와 신축이음장치가 분리되는 것을 확인하였다.

3.2 신축이음장치 피로시험

부분 인장실험을 통해 앵커 캡 및 전단기의 이상 유무를 확인하고, 신축이음장치의 상부판이 분리되는지를 확인하였다. 신축이음장치 피로시험은 부분 선행실험과 동일하게 "교량신축이음장치 시험방법(KS F 4425)" 따라 실험을 실시하였다. 본 실험의 목적은 후타재를 무수축 모르타르 대신 개발된 CM계 모르타르 또는 EC계 모르타르를 사용할 수 있는지를 확인하기 위해서이다. 실험체 형상 및 배근상황은 그림 8.에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 실험체 폭은 신축이음장치의 폭과 동일하게 1300mm로 하였으며, 실험체 길이는 실험실의 여건에 따라 1830mm로 결정하였다. 그리고 실험체 높이는 후타재가 타설되는 부분과 기존콘크리트의 두께를 고려하여 500mm로 결정하였다. 실험체 제작은 그림 9.에 나타난 바와 같이 1. 실험체 거푸집 및 배근 2. 콘크리트 타설 3. 실험체 양생 4. 신축이음장치 설치 5. 후타재를 타설하기 위한 거푸집 제작 6. 후타재 타설 7. 후타재 양생 순으로 이루어 졌다.

실험체 설치 상황은 그림 10.과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시공과 동일한 방법으로 신축이음장치를 설치하고, 각각 제작된 실험체를 맞물려 설치하였다. 실험은 선행실험과 동일한 방법으로 "교량신축이음장치 시험방법(KS F 4425)" 따라 최소 22,54kN(2.3tonf), 최대 116.62kN(11.9 onf)하중을 1사이클로 하여 3Hz 주파수로 2,000,000회 피로하중을 가력하였다. 실험 기간은 약 7.7일이 소요되며, 실험이 진행되는 동안 후타재에 발생하는 균열 및 신축이음장치 부분의 손상정도를 육안으로 확인하고 사진으로 기록하였다. 2,000,000회를 실시한 후의 최종파괴 상황은 그림 11.에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 실험체가 양호한 상태로 실험이 종료되었으며, 후타재에서의 균열이나 앵커시스템에서의 구조적 결함은 발견되지 않았다.



그림 10. 실험체 설치상황



그림 11. 최종파괴 상황

4. 결 론

본 연구에서는 기존에 사용해왔던 무수축 모르타르 대신 탄성 콘크리트 후타재를 개발하고, 개발된 탄성콘크리트의 재료적 물성을 파악하고, 앵커의 인발성능 및 피로시험을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 친환경 폴리우레탄 바인더를 이용해서 개발된 후타재용 CM 모르타르, EC 모르타르와 부착식 앵커의 재료적 특성을 파악하였다.
- 2) 신축이음장치의 고정용으로 사용되는 앵커는 인발성능 실험을 통해서 앵커의 묻힘깊이를 결정하였으며, 이를 근거로 부착식 앵커의 개수를 결정할 수 있다.
- 3) 나사가 풀리지 않는 신축이음장치 상세를 제안하였으며, 부분 인장실험을 통해서 구조적 안전성을 규명하였다.
- 4) 실물 크기의 피로시험을 통해서 품질이 규명된 CM 모르타르, EC 모르타르 및 앵커고정장치는 신축이음장치에 사용이 가능하고, 하중 재하시에 신축이음장치와 같이 거동함으로써 내구성 및 구조적 안전성이 우수하다.

참 고 문 헌

1. 강제홍 외 3명, 폴리우레탄 콘크리트의 기초적 성상에 관한 연구, 콘

- 크리트 가을학술발표회, pp.253~259, 1996
2. 교량신축이음장치 시험방법(KS F 4425)
 3. 박기태, 전국 교량 현황 분석, 한국건설기술연구원, 제53권 제5호, 2005.5
 4. 한국도로공사, 신축이음장치에 관한 연구, 1993
 5. C. Barnard, Bridge Joints, Concrete, 2004.3
 6. S. Michael, Szycher's handbook of Polyurethanes, CRC press, pp.12~22, 1999

(접수 2009.10.16, 심사 2009.12.22, 게재확정 2009.12.29)

요 약

교량 신축이음장치의 파손 유형은 주로 후타재(무수축 모르타르)와 관련된 부분에서 많이 발생된다. 또 다른 문제는 중차량 통과에 따른 충격과 진동하중으로 인해서 신축이음장치를 후타재에 고정하기 위해서 사용하는 앵커 풀립 현상이다. 본 연구에서는 무수축 모르타르의 파괴에 따른 신축이음장치의 파손을 방지하기 위해 탄성콘크리트를 개발하였다. 개발된 탄성콘크리트와 현재 주로 사용하고 있는 무수축 모르타르의 인발성능을 비교하였다. 또한, 후타재와 신축이음장치를 일체화하여 후타재의 파손을 방지하고 신축이음장치를 쉽게 교체할 수 있는 앵커 시스템을 개발하였다.

키워드 : 신축이음장치, 무수축 모르타르, 탄성모르타르, 앵커 시스템
