매스콘크리트 설계방안 검토

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2012년도 고속도로 설계 실무자료집(2013, 한국도로공사)

1. 일반현황

(1) 2012. 12월 감사원 감사시 매스콘크리트 구조물에 대한 온도균열 발생여부를 검토하고, 이를 억제할 수 있는 설계나 시공관리 방안을 제시토록 함에 따라, 이에 대한 방안을 정립하고자 함

2. 현황 및 문제점

(1) 매스콘크리트 균열 제어 검토방법은 아래 2가지 방법이 있음

온도균열지수에 의한 평가	기존실적에 의한 평가
1) 온도균열 지수: 임의 재령의 콘크리트 인장강도와 수화열에 의한 온도응력 비 $I_{cr}(t) = \frac{f_{sp}(t)}{f_t(t)}$ $f_t(t)$ 수화열에 의한 온도응력 $f_{sp}(t)$ 콘크리트 인장강도 2) 온도균열지수에 따른 관리 방법 - 균열발생 방지 : 1.5이상 - 균열발생 제한 : 1.2~1.5 - 유해 균열발생 제한 : 0.7~1.2	1) 낮은 옹벽 등 중요성이 적은 구조물 2) 경험적으로 균열 발생이 적고, 균열이 발생하더라도 기능상 거의 문제가 없는 구조물 3) 수 많은 시공예가 있고, 시공경험상 적절한 시공으로, 유해한 균열이 생기지 않는다는 사실이 실적에 의해 증명되는 구조물

(2) 교량 교대, 교각 대부분은 매스콘크리트에 해당되어 온도 균열지수 평가 또는 기존실적 평가를 시행하여야 함

(3) 그러나, 온도균열지수 평가는 해석 절차가 복잡하고, 시간이 과다 소요되므로, 모든 구조물에 적용하는 것은 불합리함

(3.1) 유한요소 해석이 필요하고, 교대(교각)당 3일 정도 소요

(4) 따라서, 사례 분석으로 기존실적 평가를 최대한 활용하여 설계 적용성 및 시공성을 향상시킬 필요가 있음

3. 개선내용

3.1 검토방향

(1) 기존실적 평가를 활용할 수 있는 기준 부재 선정

(1.1) 기준 부재 이하 : 별도의 수화열 해석 생략

(1.2) 기준 부재 이상 : 균열제어방안 검토

3.2 실구조물 시공실적 및 온도균열지수 검토

2011년 매스콘크리트 구조물 설계기준을 위한 연구 요약

(1) 시공실적 검토

(1.1) 대상 : 12개 교량(A~L교)의 대상 구조물 21개소

(1.2) 실적 결과

(1.2.1) 교각 : 교각 11개소에서 온도균열 발생이 없었음

(1.2.2) 교대 : 벽체 10개소 중 1개소에서 온도균열 발생

(2) 온도균열지수 산정 검토

(2.1) 대상 : I교(PSCI 빔교, 2@35+3@35=175m) P2, A2

(2.2) 온도균열지수 산정 결과(해석프로그램 : MIDAS-CIVIL)

부재	부위	규격(m)	온도균열 지수		실구조물 관찰
			기준값[1]	해석값	
P2	기초	8.0×6.5×1.8	0.7이상	0.61	균열 미발생
	기둥(1단)	ϕ2.2		0.67	〃
	기둥(2단)	ϕ2.2		0.56	〃
	코핑	12×2.7×2.5		0.47	〃
A2	기초	12.6×5.3×1.0		0.48	〃
	벽체	12.6×2.2×4.1		0.47	〃

*** 교각, 교대 : 균열 발생 확률이 높은 것으로 산정되나, 실구조물 균열 없음**

(2.3) 교각 · 교대 기초, 기둥 : 실적 검토결과 온도균열 미발생으로 실적 · 규격을 참고하여 기준부재 선정 필요

(2.4) 교대 벽체 : 실적 검토결과 온도균열 발생하므로 균열제어방안 마련 필요

3.3 교각 · 교대 기초, 기둥의 기준부재 선정

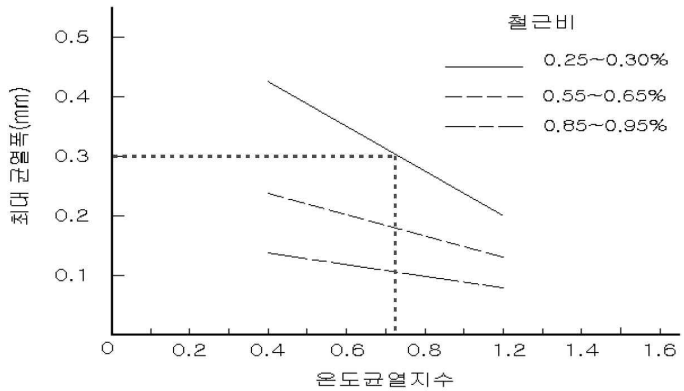
구 분	부재 치수(m)	강도(MPa)	비 고
독립 확대기초	12.0×12.0×3.5	27	2011년 매스콘크리트 구조물 설계기준을 위한 연구 참조
연속 확대기초	26.0×6.6×2.0	27	
원형기둥	ϕ3.0	40	

3.4 교대 벽체 균열 제어 방안 검토

3.4.1 철근비 조정을 통한 균열제어

(1) 균열폭과 균열지수와의 상호관계는 아직 명확치 않으나,

(2) 콘크리트표준시방서(2009)를 참조하여, 균열폭 0.3mm 이내가 되도록 하기 위해 균열지수 0.7에서는 수평철근량 0.25~0.3% 정도로 제시함



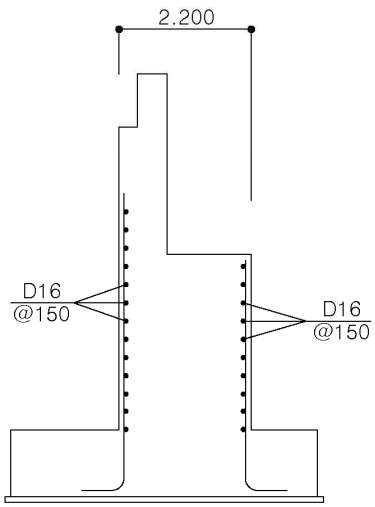
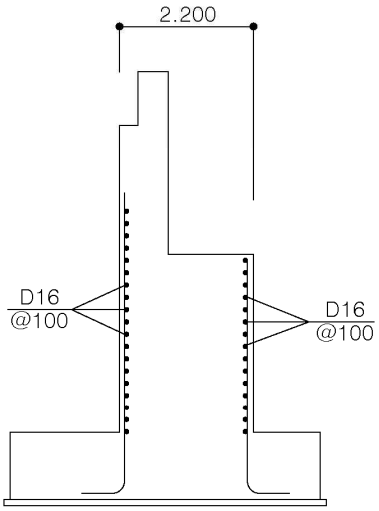
<최대균열폭, 온도균열지수, 철근비의 관계>

(3) 그러나 현행 설계기준대로 두께 2.2m벽체에 온도 · 건조수축 철근을 배근할 경우 철근량은 0.08% 정도임

(3.1) 실구조물 시공실적 검토결과 철근비가 가장 낮고, 두꺼운 부재에서 균열 발생

교량명	위치	부재크기(m)	철근비	실구조물 관찰
B교	A1 벽체	12.6×2.2×4.0	0.0016	균열 발생
	A2 벽체	12.6×2.2×6.3	0.0018	균열 미발생
C교	A2 벽체	13.4×0.8×9.1	0.0035	〃
G교	A1 벽체	8.4×0.8×4.2	0.0027	〃
	A2 벽체	12.7×0.8×3.3	0.0029	〃

(4) 따라서, 교대벽체 수평철근량을 증가시키고 철근 간격을 조밀하게 배근하여 균열제어에 유리한 설계를 유도함(ACI 318-08 준용)

구 분	당 초 (도로교설계기준)	개 선 (0.18% 이상)
단면도		
철근량 (단위m당)	$As_{,req}$ = 0.0015hs≤1800mm^2 ∴ D16@150-2ea = 2,648mm^2	$As_{,req}$ = 0.0018hs = 3960mm^2 ∴ D16@100-2ea = 3,972mm^2

(4.1) 최근 도로교설계기준(한계상태설계법)에서 준용하고 있는 LRFD(2010)에서도 온도 · 건조수축 철근량 산정은 ACI 318-08의 0.0018hs 이상 규정을 근거로 하고 있음

3.4.2 수축이음 설치를 통한 균열제어

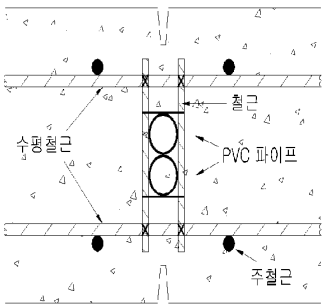
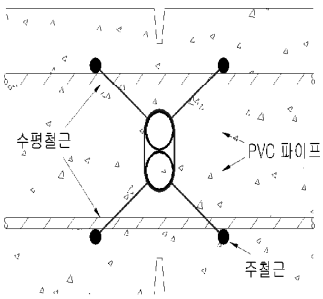
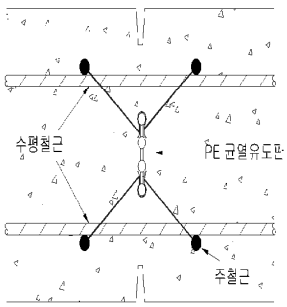
(1) 수축이음 시방 규정: 콘크리트표준시방서(2009)

제18장 매스콘크리트

1.8 수축이음

(1) 벽체구조물의 온도균열을 제어하기 위해서는 구조물의 길이방향에 일정 간격으로 단면 감소 부분을 만들어 그 부분에 균열이 집중되도록 하고, 나머지 부분에서는 균열이 발생하지 않도록 하여 균열이 발생한 위치에 대한 사후 조치를 쉽게 하기 위해 수축이음을 설치할 수 있다. 계획된 위치에 균열 발생을 확실히 유도하기 위하여 수축이음 단면 감소율을 35% 이상으로 하여야 한다

(2) 현장타설암거 수축이음은 설계 적용 중이나, 이에 준하는 교대 벽체 수축이음은 설계 미 적용

PVC 파이프에 의한 설치		균열유도판 설치
조립용 브릿지 철근 설치	결속선으로 십자형 연결지지	
		

<수축이음 설치 종류 및 지지방법>

(3) 따라서 벽체 수축이음은 구조적 안정성을 확보하는 범위 내에서 적정 간격으로 수축이음 설치 필요

(3.1) 교좌장치 위치 등을 고려하여 설치(수축이음 위치도 및 상세도 별첨)

4. 결론

4.1 매스콘크리트 설계 방안

4.1.1 교각 기초 · 기둥, 교대기초 기준부재 마련

구 분	부재 치수(m)	강도(MPa)
독립 확대기초	12.0×12.0×3.5	27
연속 확대기초	26.0×6.6×2.0	27
원형기둥	ϕ3.0	40

(1) 기준 부재보다 작은 부재

(1.1) 수화열 해석 없이 현행대로 시행

(2) 기준 부재보다 큰 부재

(2.1) 수화열 해석을 통한 균열제어 방안을 설계 반영

※ 파이프쿨링, 콘크리트 선행 냉각, 저열시멘크 사용 등

4.1.2 교대 벽체

(1) 균열 제어를 위해 수평철근량을 0.18% 이상, 간격 100mm 내외가 되도록 배치

(2) 수축이음은 교좌장치 위치를 피해 6m 내외 적정 간격 설치

4.2 적용

(1) 설계중 노선 : 본 방침 적용

(2) 시공중 노선 : 공사주관부서에서 판단하여 적용

5. 기타

5.1 실구조물 시공실적

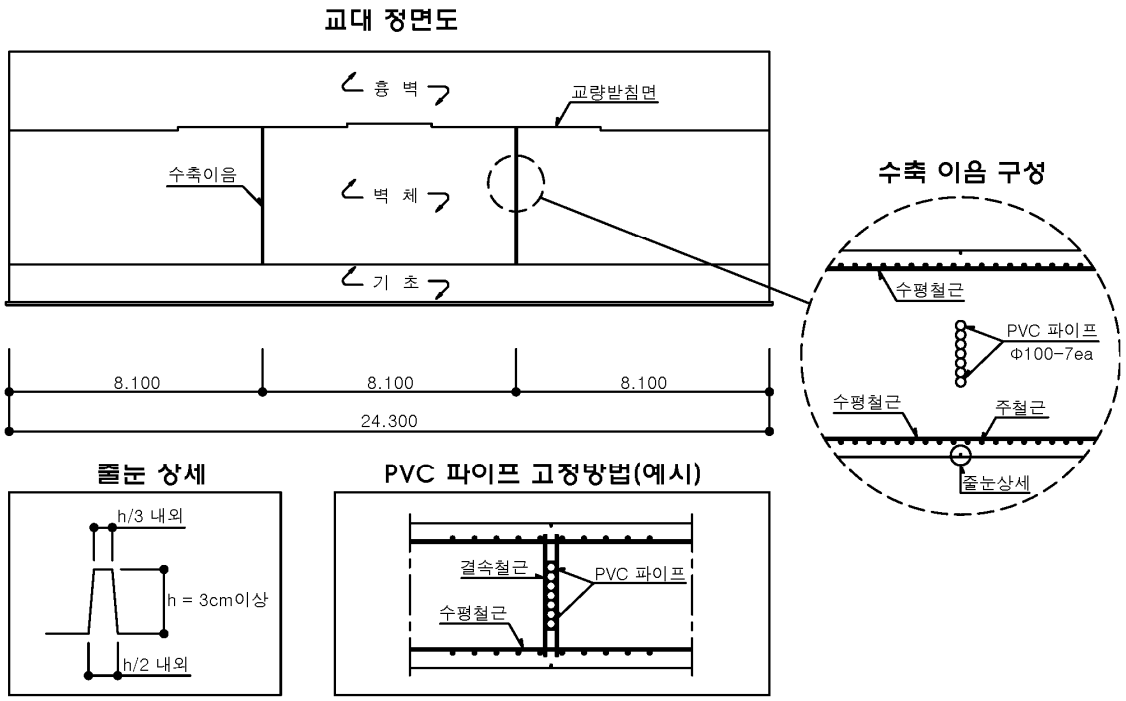
(1) 대상구조물

노선	교량명	구조 형식	검토 위치	부재크기(m)	f_{ck} (MPa)	비고
음성 충주	A교	PSCI	P15	기초(10×10×2.8) 기둥(5.0×2.8×32.1) 코핑(11.7×2.8×3.3)	24	기초, 기둥10단타설 기둥 사각형중공단면
	B교	PSCI	A1, A2	기초(12.6×6.8×1.6) 벽체(12.6×2.2×6.3) 파라펫(12.6×0.8×2.9)	24	
	C교	라멘	A1, A2	기초(13.4×5.0×0.8) 벽체(13.4×0.8×9.1)	27	
충주 제천	D교	PSCI	P5	기초(12×10×2.5) 기둥(4.0×2.0×30.2)	27	반쪽원형기둥 기둥4~6단 타설
	E교	PCT거더	P2	기초(12×12.5×3.5)	27	
				기둥(4.5×3.7×48.7)	40	중공단면
	F교	FCM (PSC박스)	P1	기초(17.0×17.0×3.5)	27	
				기둥(6.0×3.0×34.5)	40	팔각형중공단면 슬립폼 시공
			P3	기초(17.0×17.0×3.5)	27	
				기둥(6.0×3.0×68.5)	40	팔각형중공단면 슬립폼 시공
	G교	라멘	A1	기초(9.7×4.2×1.0) 벽체(8.4×0.8×4.2)	18 27	
			A2	기초(12.7×4.2×1.0) 벽체(12.7×0.8×3.3)	18 27	
냉정 부산	H교	STB	P1	기초(29.0×9.0×2.0) 기둥(ϕ2.0×1.6) 코핑(26.0×2.6×3.1)	27	
	I교	PSCI	A1, A2	기초(12.6×5.3×1.0) 벽체(12.6×2.2×4.1) 파라펫(12.6×0.8×2.9)	24	A1(기초, 벽체) A2(기초, 벽체, 파라펫) P2, P3(기초, 기둥2단, 코핑)
			P2	기초(8.0×6.5×1.8) 기둥(ϕ2.2×12) 코핑(12×2.7×2.5)	27	
			P3	기초(6.5×6.5×1.8) 기둥(ϕ2.2×12.1) 코핑(12×2.7×2.5)		
	J교	라멘	A1, A2	기초(11.0×3.7×1.0)	27	기초
	K교	STB	A2	기초(11.3×4.6×1.1)	24	기초
	L교	PSCI	P1, P3	기초(7.0×7.0×2.0) 기둥(2.0×2.0×5.75) 코핑(12.0×2.4×2.9)	27	P1(기초, 기둥, 코핑) P3(기초, 기둥)

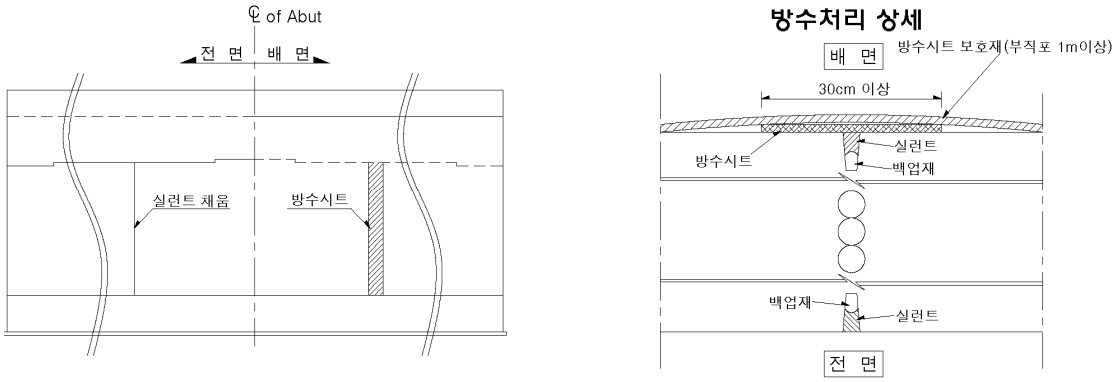
(1.1) B교 교대 벽체에서만 온도균열 발생

5.2 수축이음 위치도 및 상세도

(1) 콘크리트 타설 전 수축이음 설치 도면



(2) 양생 후 수축이음 처리 도면



5.3 현장타설 콘크리트 암거의 수축이음 적용지침

5.3.1 목적

(1) 현장타설 콘크리트 암거에 수축이음을 적용하여 수축구속 균열로 인한 사용성과 내구성 저하 및 유지관리의 불리함을 개선키 위함.

(2) 일본 및 국내시방서에서는 “균열유발줄눈”이라는 용어를 사용하고 있고 현장에서는 “수축줄눈”이라는 용어를 사용하고 있지만 보다 포괄적이고 정확한 용어인 “수축이음(contraction joint)”을 사용함.

5.3.2 추진 현황

(1) ‘03. 1 ~ 12 : 현장타설암거의 균열 최소화를 위한 연구과제 수행(기술관리실, 도로교통기술원)

(2) ‘04. 1 ~ 4 : 암거수축이음 적용(안) 수립 및 설계심의

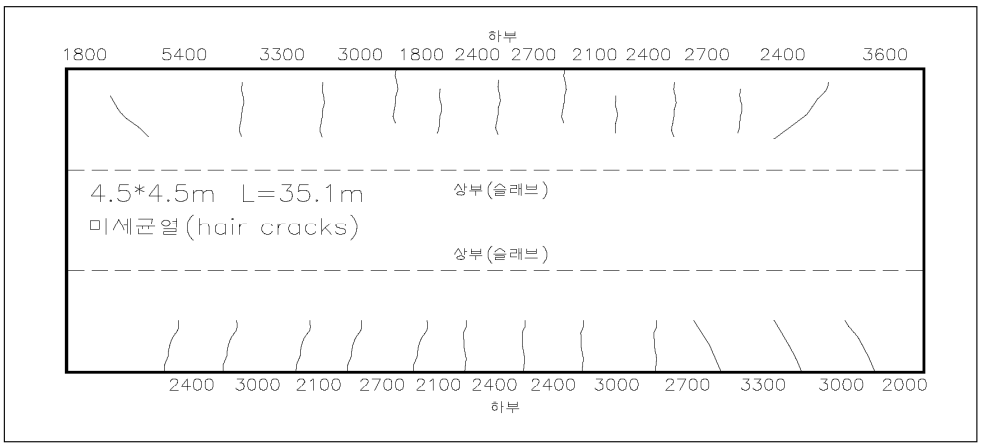
(3) ‘04. 5 ~ 10 : 암거수축이음 시범 적용 (4개 사업소 9개 암거 적용)

5.3.3 암거의 균열 발생 및 문제점

(1) 암거균열 조사

(1.1) 공용 또는 건설중인 수도권 및 중부 관내 통,수로 암거 27개소 조사

(1.2) 평균 균열간격 : 2.6m



<암거 균열발생 사례>

(1.3) 일부 암거는 면귀만을 이용한 수축 이음을 설치하여 균열유도를 하였으나 유도율은 30% 내외로 미미하였음

(1.4) 수축이음이 없는 암거는 균열 보수 후에도 추가균열이 지속적으로 발생(균열보수비 약 200만원/암거 소요)



<균열보수 전경>

(2) 균열 발생 및 수축이음(면귀) 설치 문제점

(2.1) 균열로 인한 백태, 누수 발생으로 미관 저해 및 콘크리트 열화 가속

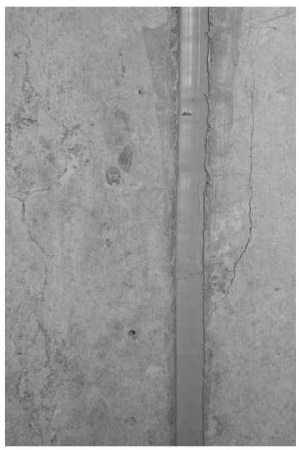
(2.2) 일부 현장에서 수축이음(면귀만 설치)을 시공하고 있으나 현장별로 수축 이음 간격, 깊이, 시공 등이 부적절하여 균열유도가 미흡함

(2.3) 실런트 충진에 불리한 줄눈 형상에 의한 미관 저해

(2.4) 수축이음 설치부에 대한 지수 대책이 필요함



(a) 수축균열 예



(b) 줄눈옆으로 진전된 균열



(c) 벽체의 백태와 누수

5.3.4 수축이음 설치 방안(설계심의 내용)

(1) 수축이음 설치간격

(1.1) 설치간격은 6m 내외 균등 배분 설치

(1.2) 암거 1 Span(20m이내) 마다 2개의 수축이음 설치

(단, 하절기(6~9월) 시공하는 암거는 1 Span이 17.5m 이상 시공할때에는 수축

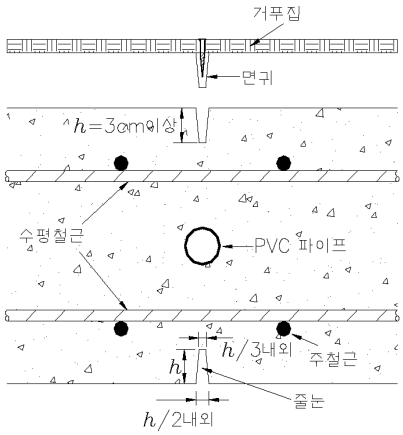
이음을 2개 이상 설치할 수 있음)

(1.2.1) PAB(Precast Arch Box)인 경우 암거이음 간격이 1.2m로 이음시공 및 방수처리하고 있음

(2) 수축이음 단면결손

(2.1) 수축이음의 단면결손율은 25%이상으로 함

(2.2) 줄눈만으로 25% 단면결손율을 얻을 수 없을 때는 단면 내부중앙부에 1개 또는 2개 이상의 PVC파이프 또는 균열유도판 등을 매립하여 25%이상 단면결손율 확보

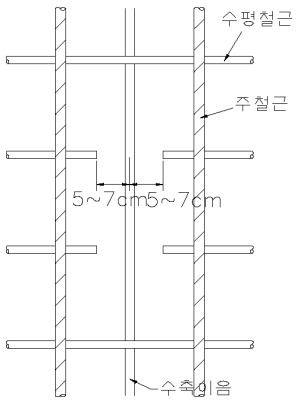


<수축이음 구성>

(3) 수축이음부 수평철근 결손

(3.1) 벽체의 수축이음부에서는 벽체 하단으로 부터 상부 헌치 하단까지의 범위에서 60% 이상의 수평철근 결손

(3.2) 벽체의 수축이음을 지나지 않는 수평 철근의 끝과 수축이음 중심 사이의 거리는 5 ~ 7cm로 함



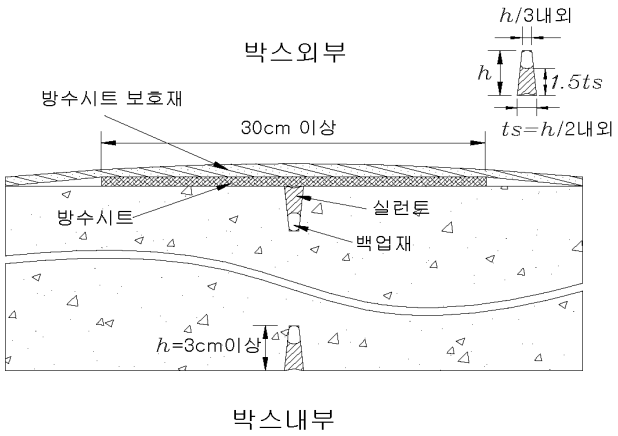
<벽체 수축이음부 수평철근 결손 처리 상세(결손율 67% 예)>

(4) 수축이음 방수처리

(4.1) 수축이음의 내 · 외측 줄눈에는 백업재를 삽입하고 실런트를 충진한다.
단, 내측은 유도된 균열의 성장이 수렴된 여부를 조사한 후 시행

(4.2) 벽체 및 상부슬래브의 외측면 줄눈부에 너비 30cm 이상의 방수시트 부착

(4.3) 뒷채움시에는 방수시트 보호재로 덮어 손상 방지



<수축이음 방수처리 상세>

5.3.5 시범적용 및 결과

(1) 적용 암거 : 균열발생에 취약한 하절기(6~9월, 월평균기온 20℃ 이상 기준) 작업 예정인 4개 사업소 9개 통, 수로 암거 (전체연장 400m)

(2) 공사비 : 900만원 (슬래브 설치 9,700 원/m, 벽체 설치 : 18,000 원/m)

(3) 적용 결과 : 하절기 3m 내외 간격으로 발생하던 균열이 암거 9개소(400m) 적용 결과 8개의 비유도 균열을 제외하고는 대부분 수축이음부로 유도되어 현장에서 균열관리에 상당히 유리한 것으로 평가됨

5.3.6 향후 적용

(1) 실시설계 및 계획중인 노선 : 본 지침 적용

(2) 공사중인 구간 : 공사시행부서에서 현장여건을 고려 적용

5.4 현장타설 암거의 수축이음 시공 및 설치지침

5.4.1 일반 사항

(1) 현장타설로 시공하는 통로와 수로박스에는 수축이음을 설치한다.

(2) 수축이음은 벽체와 상부슬래브에 걸쳐 연속적으로 이어지도록 설치한다.

(3) 수축이음의 설치간격은 6m 내외로 균등 배분 설치하되 신축이음으로 구분되는 암거 Span(20m이내)당 2개의 수축이음을 설치한다.

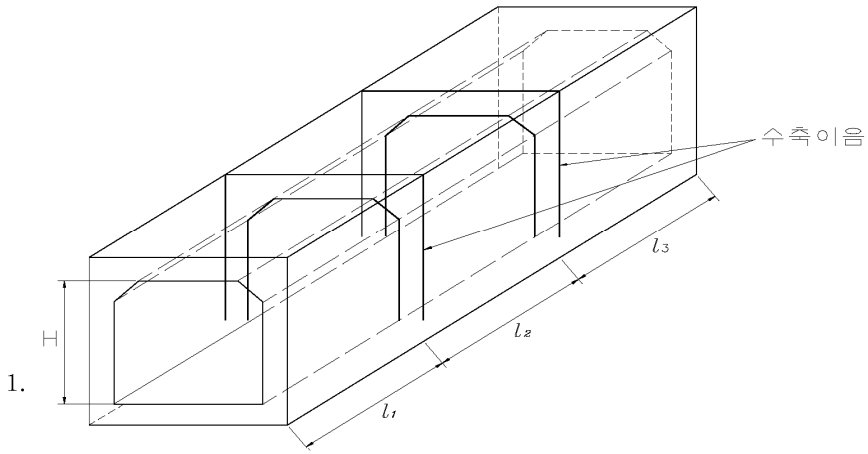
단, 하절기(6~9월) 시공하는 암거는 1 Span이 17.5m 이상 시공할때에는 수축이음을 2개 이상 설치할 수 있다.

(4) 수축이음은 줄눈(면귀)과 단면내부에 매립하는 PVC 파이프 등의 매립물 및 벽체에서의 수평철근 결손으로 구성한다.

(5) 수축이음은 벽체 및 상부슬래브의 주철근과 평행하게 설치하되 주철근으로 부터 가능한 먼 곳에 위치시킨다.

(6) 벽체의 수축이음 단면결손율은 25% 이상이 되게 한다.

(7) 상부슬래브의 수축이음은 최소단면 결손율 제약 없이 줄눈(면귀)만으로 구성한다.



<그림 1> 박스 암거 수축이음 간격

5.4.2 수축이음 설치

(1) 벽체 및 상부슬래브 두께에 관계 없이 면귀는 깊이 3cm 이상으로 하여 단면내, 외면에 설치한다. 단, 상부슬래브의 상면은 현장 여건에 따라 설치하지 않을 수 있다.

(2) 내, 외면 면귀은 동일 횡단면에 놓이도록 정확히 위치시킨다.

(3) 암거내부에 무늬거푸집을 시공할 경우 설치위치를 사전 고려하여 미관이 손상

되지 않도록 한다

(4) 면귀의 단면형상은 면귀에 충진한 실런트가 장기간동안 빠지지 않으면서도 거푸집 해체시 용이하게 빠질 수 있는 형상으로 한다. 그림 2와 그림 5에 보이는 것과 같은, 경사가 완만한 테이퍼 형상이 유리하다.

(5) 면귀는 나사못등으로 거푸집에 단단히 고정시키고 미관을 고려 내측 면귀는 거푸집이음부에 가능한 설치한다.

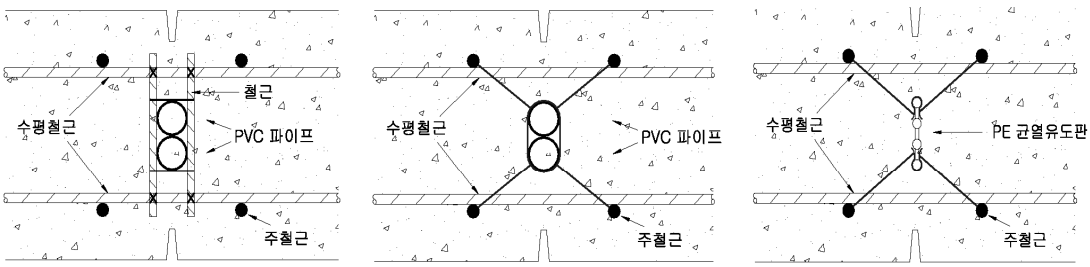
(6) 면귀만으로 25% 단면결손율을 얻을 수 없을 때는 단면 내부 중앙부에 1개 또는 2개 이상의 PVC 파이프 또는 균열유도판 등을 매립하여 25%이상 단면 결손율을 얻도록 한다.

(7) PVC 파이프 등은 벽체 하단부터 상부슬래브 하면 부근 높이까지 벽체 단면 내부 중앙에 매립한다.

(8) 암거 벽체 두께가 50cm 이하인 경우 PVC 파이프 직경이 5cm를 넘지 않게 하고 벽체 두께가 50cm를 초과하는 경우에는 벽체 두께의 10% 이하로 하되 10cm를 초과하지 않게 한다.

(9) 상부슬래브에는 PVC 파이프 등을 매립하지 않는다.

(10) 콘크리트 타설시 PVC 파이프 등이 움직이지 않도록 조립용 철근 및 결속선을 사용하여 주변철근등에 단단히 고정시킨다.



a. 조립용 브릿지 철근 설치 b. 결속선으로 십자형 연결지지 c. 균열유도판 설치방법

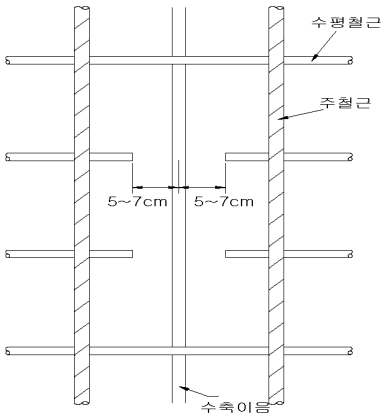
<그림 3> PVC 파이프 설치시 고정방법 예시

5.4.3 수축이음부 수평철근 결손

(1) 벽체의 수축이음부에서는 벽체 하단으로 부터 상부 헌치 하단까지의 범위에서 60% 이상의 수평철근을 결손시킨다.

(2) 상부슬래브의 종방향 철근은 어느 위치에서도 의도적으로 결손시키지 않는다.

(3) 벽체의 수축이음을 지나지 않는 수평철근의 끝에는 갈고리를 두지 않는다.



〈그림 4〉 벽체 수축이음부 수평철근 결손처리 상세(결손율 67% 예)

(4) 벽체의 수축이음을 지나지 않는 수평철근의 끝과 수축이음 중심 사이의 거리는 5 ~ 7cm로 한다.

5.4.4 수축이음부 방수

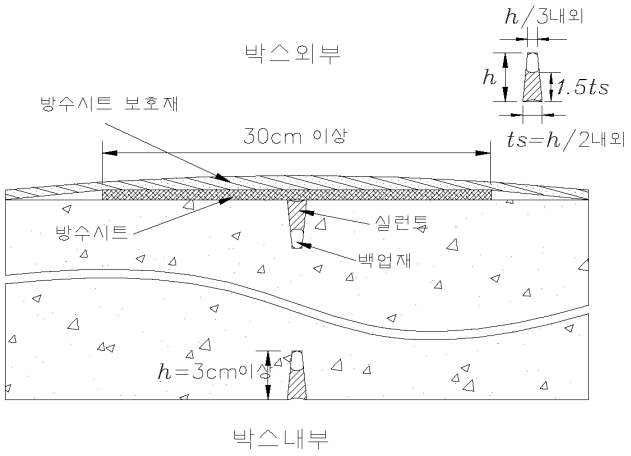
(1) 수축이음의 내 · 외측 줄눈에는 백업재를 삽입하고 실런트를 충진한다.
단, 내측은 발생한 유도균열의 성장이 수렴된 여부를 조사한 후 시행한다.

(2) 벽체 및 상부슬래브의 외측면 줄눈에는 뒷채움 실시 전에 실런트를 충진하고 너비 30cm 이상의 방수시트를 부착한다.

(3) 뒷채움시에는 방수시트 보호재등으로 덮어 손상되지 않도록 주의한다.

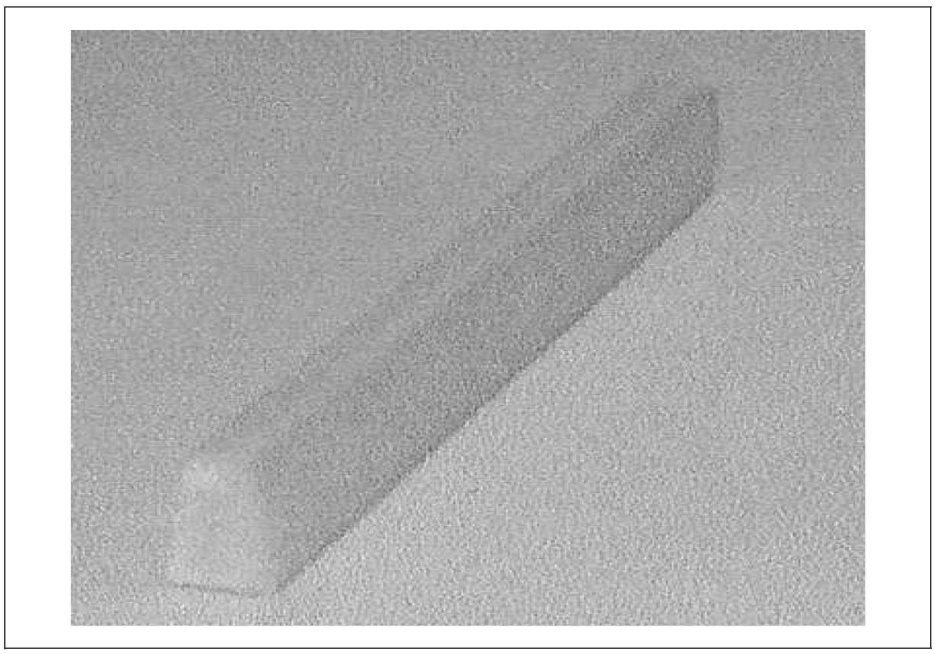
(4) 실런트의 깊이는 표면쪽 너비(t_s)의 1.5배($1.5t_s$)가 되도록 백업재의 크기를 선정한다.

2.



〈그림 5〉 수축이음 방수처리 상세

5.4.5 시험시공 사진



<사용 면귀 형태>



<단면 결손 Pipe 설치 전경>



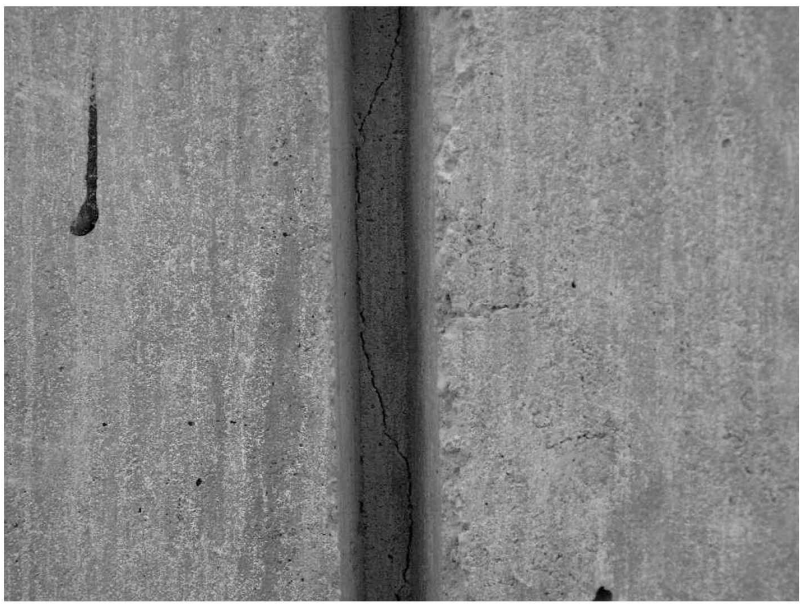
<방수쉬트 설치 전경>



<방수쉬트 보호재 설치 전경>



<수축이음 설치 전경(내부)>



<면귀 설치부 균열유도 형태>