다이아프램 설계최적화 방안 검토

제공처 : 한국도로공사 기술심사처

출처 : 2008년도 고속도로 설계 실무자료집(2009, 한국도로공사)

1. 일반현황

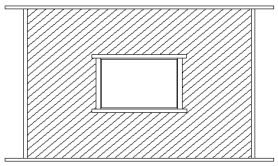
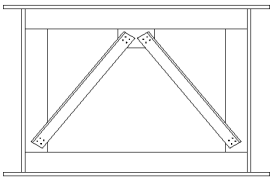
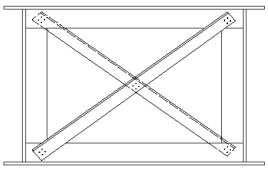
Steel Box Girder교에서 비틀림 또는 찌그러짐을 방지하기 위하여 설치하는 중간다이아프램 형식을 변경(충복식→K형식)하고 개구부 규격을 확대하여 시공성, 경제성 및 유지관리 편의성을 향상시키고자 함.

2. 현황 및 문제점

2.1 설계기준 및 문제점

(1) 설계기준

(1.1) 국내

충 복 식	크로스 프레임 형식	
	K 형	X 형
		

구 분	내 용
도로교설계기준(2005) · 해설(2008)	▸중간 다이아프램 간격 $L_D < 6m$ (L≤50m) $L_D < (0.14L-1.0)m$ (L>50m) 단, $L_D \leq 20m$ [L = 지간, L_D= 중간 다이아프램의 간격]
도로설계요령 교량편 (2001)	▸중간 다이아프램 간격 $L_D < 6m$ (L≤50m) $L_D < (0.14L-1.0)m$ (L>50m) 단, $L_D \leq 20m$ ▸중간 다이아프램 필요 강성 $K \geq 20\frac{EI_{DW}}{L_D^3}$
강도로교 상세부 지침 (2006)	▸중간 다이아프램 형식은 충복판, 라멘구조, 수직 브레이싱 방식이 있으며, 개구율(ρ)은 ρ ≤ 0.4 충복판 0.4 < ρ < 0.8 충복판과 라멘의 중간 ρ≥ 0.8 라멘 구조

구 분	내 용
개구제형 강합성형 교량 설계지침 (2003)	▸개구제형에 설치하는 K형 크로스 프레임 부재 - 최소 L-100×100×10 이상의 부재 사용 단, 곡선교의 경우 최대 뒤틀림응력을 허용인장 응력의 5%이내가 되도록 중간다이아프램 배치 - 부재의 세장비(λ)는 150이하 λ = l/r 여기서, l=부재의 길이 r=부재의 최소 단면 2차 반지름

(1.2) 국외

구 분	내 용
미 국 [AASHTO Guide Specifications(2003)]	▸중간 다이아프램 간격 $L_D \leq 30ft\ (=9.0m)$ ▸뒤틀림 응력비(뒤틀림응력/최대 휨응력) $\frac{f_{DW}}{f_b} \leq 10\%$ 여기서, L_D= 중간 다이아프램간격 f_{DW} = 뒤틀림응력, f_b = 최대 휨응력
일 본 (Hanshin Express Public Corporation)	▸중간 다이아프램 간격 $L_D < 6m$ $(L < 60m)$ $L_D < (0.14L-2.4)m$ $(60m \leq L \leq 160m)$ $L_D = 20m$ $(L \geq 160m)$ ▸뒤틀림 응력비(뒤틀림응력/최대 휨응력) $\frac{f_{DW}}{f_b} \leq 5\%$ 여기서, L_D= 중간 다이아프램간격 f_{DW} = 뒤틀림응력, f_b = 최대휨응력

(2) 문제점

(2.1) 원자재값(원유, 강재, 고철) 상승으로 인한 건설환경 악화.

(2.2) 중간 다이아프램은 대부분 가로보 설치간격과 동일한 5m로 하고 있음.

(2.3) 다이아프램 형식은 대부분 충복식만을 적용하고 개구부 규격이 작아(ρ=0.28 정도) 다른 형식에 비하여 경제성, 시공성, 유지관리 측면에서 불리함.

3. 개선내용

3.1 검토(안)

3.1.1 검토조건

(1) Steel Box Girder교

(1.1) 단순교 : L=50m, 2차로(폭원12.6m), 직선교, 사각 0°

(1.2) 연속교 : L=130m(40m+50m+40m), 2차로(폭원12.6m), 직선교, 사각0°

(1.3) 연속교 : L=130m(40m+50m+40m), 2차로(폭원12.6m), 곡선교(R=900m), 사각 15°

(2) Steel Box Girder교는 거더 배치간격 및 거더수 등 다양한 변수가 있으므로 행선분리를 기준으로 검토.

(3) 강합성교 다이아프램 설계최적화 방안의 설계자문(2008. 9) 의견을 반영하여 직선교는 강성, 세장비, 축응력 3가지, 곡선교는 강성, 세장비, 축응력, 뒤틀림응력비(뒤틀림응력/최대휨응력) 4가지 항목의 구조적 안정성 검토.

3.1.2 다이아프램 지점별 적용방향

구 분		다이아프램 형식		비 고
		충복식	K형식	
직선교	지 점 부 (중간지점부 포함)	○	–	단순교 연속교
	중 간 부	–	○	
곡선교	지 점 부 (중간지점부 포함)	○		“
	중 간 부	구조검토 후 결정		

3.1.3 검토내용

(1) 교량 다이아프램 설계최적화 방안 설계자문(2008. 9) 의견(5.1절 참조)

(1.1) 자문위원 : 고려대학교 강영종 교수외 6인

(1.2) 자문내용 : 중간 다이아프램 형식변경(충복식→K형식)등 6개사항

(2) 구조적 안정성 (5.2절 참조)

(2.1) 직선교(연속교 포함)의 경우

(2.1.1) 지점부(중간지점부 포함)의 다이아프램은 개구율을 확대하고 중간부는 충복식 → K형식으로 변경하여도 안정성 확보

(2.2) 곡선교(연속교 포함) 경우

(2.2.1) 지점부(중간지점부 포함) 다이아프램은 개구율을 확대해도 안정성 확보

(2.2.2) 중간 다이아프램은 각종 변수 【곡선반경, 강성, 세장비, 축응력, 뒤틀림응력비(뒤틀림응력/최대휨응력)】 를 감안한 구조적 안정성 검토를 통하여 충복식 → K형식으로 변경이 필요

(3) 경제성 (다이아프램 설치간격 5m 적용)

(3.1) 단순교 【지점부(충복식 개구율 확대) + 중간부(K형식 적용)】

구 분	당 초	개 선
강재량(ton)	13.19	10.53 (감 20%)
공사비(만원)	3,690	2,950 (감 20%)

(3.2) 연속교 【지점부(충복식 개구율 확대)+ 중간부(K형식 적용)】

구 분	당 초	개 선
강재량(ton)	19.41	17.09 (감 12%)
공사비(만원)	5,430	4,780 (감 12%)

3.2 검토결과

(1) 지점부(중간지점부 포함) 다이아프램은 시공성, 유지관리측면을 감안하여 개구율(ρ) 0.4이내에서 충복식 개구율을 확대.

(2) 평면곡선반경 2,000m이상의 곡선교 중간 다이아프램은 직선교로 간주하여 충복식→K형식으로 변경 적용.

(3) 평면곡선반경 2,000m미만의 곡선교 중간 다이아프램은 강성, 세장비, 축응력, 뒤

틀림응력비(뒤틀림 응력/최대휨응력)의 구조적 안정성 검토후 충복식 또는 K형식 결정.

단, 뒤틀림응력비(뒤틀림 응력/최대휨응력)는 10% 이내로 함.

4. 결론

4.1 기대효과

(1) 시공성 및 유지관리 편의성 도모

(2) 다이아프램 형식변경에 따른 예산절감

(2.1) 국가간선망계획(7×9) 확대 적용시 760억원 절감

(3) 적용방안

(3.1) 설계중 또는 VE시행 노선 : 본 방침 적용

(3.2) 공사중인 노선 : 공사주관부서 판단 하에 적용

5. 기타

5.1 교량 다이아프램 설계최적화 방안 설계자문

■ 일시 : 2008. 9. 5 ~ 9. 25

■ 자문위원 : 고려대학교 강영종교수외 6인

■ 설계자문 사항 및 의견

○ 중간 다이아프램

1. 강합성교에서 중간 다이아프램은 설계기준(도로교설계기준 · 해설 및 도로설계요령)에 의해 강성검토 항목만 규정되어 있으므로 다이아 프램을 K형식으로 변경시 설계기준에 의거 강성검토만 시행할 경우 다이아프램 안전성 확보 여부에 대한 의견

   ⇒ 다이아프램 변경(K형식)시 도로교설계기준에 의거 강성만 검토

2. 다이아프램 설계시 뒤틀림 응력비를 국내 기준(개구제형 강합성교량 설계지침, 곡선교)은 5%, 해외 기준(AASHTO 및 한신고속도로)은 10% 및 5%로 제한하고 있으나, 제한범위가 서로 상이하므로 다이아 프램 설계시 뒤틀림 응력비를 5%, 10%, 다른값을 적용해야 하는지에 대한 의견

   ⇒ 구조검토시 휨응력대비 뒤틀림응력의 비를 10%이내 적용

3. 본 검토내용은 직교 기준으로 검토하였으나 사교, 곡선교에 K형식의 중간 다이아프램 적용성에 대한 의견

   ⇒ 사교, 곡선교도 K형식 적용해도 무리가 없음.

4. 직선교와 곡선교을 구분하기 위한 평면곡선반경(R)의 최대치

   ⇒ 초기곡률영향 검토와 2,000m이상이면 가능하다는 소수(2인)
   의견을 제시하여 곡선반경 2,000m이상이면 가능

5. 가로보(Cross Beam)간격 확대(5m→10m)에 따른 다이아프램 설치 간격을 5m 또는 10m 적용방안에 대한 의견

⇒ 다이아프램 설치간격을 5m→10m 조정해도 문제가 없음.

○ 지점부 다이아프램(교대, 교각부)

6. 현재 적용하고 있는 지점부 다이아프램(충복식)의 개구부 크기가 협소하여 유지관리성이 저하되므로 개구부 규격을 크게 하는 개구율 확대방안에 대한 의견.

⇒ 원활한 유지관리을 위하여 개구부 확대는 바람직

5.2 구조적 안전성 검토

(1) 중간 다이아프램의 강성 및 세장비 검토

(1.1) 단순교 (적용부재 : L-100×100×10mm)

구 분			검 토 결 과	안전율	판정
배치 간격	충복식	도로설계요령 교량편 (2001)	K=1.639E+13 N·mm > Kreq=2.532E+12 N·mm	0.15	O.K
	K형식	도로설계요령 교량편 (2001)	K=3.227E+12 N·mm > Kreq=2.532E+12 N·mm	0.78	O.K
		개구제형 설계지침(2003)	λ = 94.9 < 150	0.63	O.K

(1.2) 연속교 (적용부재 : L-100×100×10mm)

구 분			검 토 결 과	안전율	판정
배치 간격	충복식	도로설계요령 교량편 (2001)	K=1.426E+13 N·mm > Kreq=1.747E+12 N·mm	0.12	O.K
	K형식	도로설계요령 교량편 (2001)	K=2.883E+12 N·mm > Kreq=1.747E+12 N·mm	0.61	O.K
		개구제형 설계지침(2003)	λ = 89.7 < 150	0.60	O.K

(2) 중간 다이아프램의 뒤틀림 응력비(뒤틀림응력/최대휨응력), 축응력 검토

(2.1) 단순교 (적용부재 : L-100×100×10mm)

(응력단위:Mpa)

구 분	고정 하중	활하중 재하시			허용 인장 응력	뒤틀림응력/ 허용인장응력 (개구제형 설계지침, 5%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (AASHTO, 응력비 10%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (한신고속도로, 응력비 5%)		Cross Frame 축응력 (D+L)
	최대 휨응력	최대 휨응력	순수 휨응력	뒤틀림 응력		응력비	안전율	응력비	안전율	응력비	안전율	
1차선재하	103.14	16.38	14.12	2.26	140	1.61%	0.32	1.89%	0.19	1.89%	0.38	23.52
2차선재하		29.20	26.33	2.87	140	2.05%	0.41	2.17%	0.22	2.17%	0.43	
3차선재하		33.27	31.77	1.50	140	1.07%	0.21	1.10%	0.11	1.10%	0.22	

(2.2) 연속교(직선교) (적용부재 : L-100×100×10mm)

(응력단위:Mpa)

구분		고정 하중	활하중 재하시			허용 인장 응력	뒤틀림응력/ 허용인장응력 (개구제형 설계지침, 5%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (AASHTO, 응력비 10%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (한신고속도로, 응력비 5%)		Cross Frame 축응력 (D+L)
		최대 휨응력	최대 휨응력	순수 휨응력	뒤틀림 응력		응력비	안전율	응력비	안전율	응력비	안전율	
측경간	1차선재하	62.09	21.12	20.86	0.26	140	0.19%	0.04	0.31%	0.03	0.31%	0.06	34.47
	2차선재하		39.97	37.16	2.81	140	2.01%	0.40	2.75%	0.28	2.75%	0.55	
	3차선재하		44.01	41.24	2.77	140	1.98%	0.40	2.61%	0.26	2.61%	0.52	
중앙경간	1차선재하	57.94	20.49	19.77	0.72	140	0.51%	0.10	0.92%	0.09	0.92%	0.18	34.47
	2차선재하		37.93	35.72	2.21	140	1.58%	0.32	2.31%	0.23	2.31%	0.46	
	3차선재하		42.48	40.8	1.68	140	1.20%	0.24	1.67%	0.17	1.67%	0.33	

(2.3) 연속교(곡선교) (적용부재 : L-100×100×10mm)

(응력단위:Mpa)

구분		고정하중		활하중 재하시			허용 인장 응력	뒤틀림응력/ 허용인장응력 (개구제형 설계지침, 5%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (AASHTO, 응력비 10%)		뒤틀림응력/ 최대휨응력 (한신고속도로, 응력비 5%)		Cross Frame 축응력 (D+L)
		최대 휨응력	뒤틀림 응력	최대 휨응력	순수 휨응력	뒤틀림 응력		응력비	안전율	응력비	안전율	응력비	안전율	
측경간	1차선재하	78.79	2.08	16.79	15.50	1.29	140	2.41%	0.48	3.53%	0.35	3.53%	0.71	36.47
	2차선재하			30.66	29.42	1.24	140	2.37%	0.47	3.03%	0.30	3.03%	0.61	
	3차선재하			37.03	35.92	1.11	140	2.28%	0.46	2.75%	0.28	2.75%	0.55	
중앙경간	1차선재하	68.88	3.00	16.47	14.65	1.82	140	2.79%	0.56	4.09%	0.41	4.09%	0.82	36.47
	2차선재하			29.96	27.91	2.05	140	2.95%	0.59	3.80%	0.38	3.80%	0.76	
	3차선재하			36.15	34.35	1.80	140	2.77%	0.55	3.38%	0.34	3.38%	0.68	

(3) 지점부 다이아프램의 강성 및 응력 검토

(3.1) 단순교

구 분			당 초	개 선
교대	다이아프램 제원		개구부 크기 500×700 (ρ=0.28), t=16mm 사용	개구부 크기 600×1000 (ρ=0.38), t=18mm 사용
	강성검토		K=2.395E+13 N·mm > Kreq=1.213E+12 N·mm	K=2.694E+13 N·mm > Kreq=1.213E+12 N·mm
			안전율 = 0.05	안전율 = 0.05
	응력 검토	휨	f=97.22MPa < fa=190MPa	f=91.97MPa < fa=190MPa
			안전율 = 0.51	안전율 = 0.48
		전단	v=83.84MPa < va=110MPa	v=102.47MPa < va=110MPa
			안전율 = 0.76	안전율 = 0.93

(3.2) 연속교

구 분			당 초	개 선
교대	다이아프램 제원		개구부 크기 500×700 (ρ=0.30), t=12mm 사용	개구부 크기 500×1000 (ρ=0.37), t=14mm 사용
	강성검토		K=1.555E+13 N·mm > Kreq=8.713E+11 N·mm	K=1.814E+13 N·mm > Kreq=8.713E+11 N·mm
			안전율 = 0.05	안전율 = 0.05
	응력 검토	휨	f=75.05MPa < fa=190MPa	f=76.87MPa < fa=190MPa
			안전율 = 0.40	안전율 = 0.40
		전단	v=81.13MPa < va=110MPa	v=99.34MPa < va=110MPa
			안전율 = 0.74	안전율 = 0.90
교각	다이아프램 제원		개구부크기 500×700 (ρ=0.28), t=26mm 사용	개구부크기 500×1000 (ρ=0.35), t=32mm 사용
	강성검토		K=3.707+13 N·mm > Kreq=1.752E+12 N·mm	K=4.562E+13 N·mm > Kreq=1.752E+12 N·mm
			안전율 = 0.04	안전율 = 0.04
	응력 검토	휨	f=41.851MPa < fa=190MPa	f=40.623MPa < fa=190MPa
			안전율 = 0.22	안전율 = 0.21
		전단	v=92.836MPa < va=110MPa	v=100.572MPa < va=110MPa
			안전율 = 0.84	안전율 = 0.91