단경간 폐복식 아치교의 축선에 관한 연구

A Study on the Axis Line of Short Span Filled Spandrel Arch Bridge

구 민 세* o 황 윤 국** 조 현 준**
KOO, MIN SE HWANG, YOON KOOG CHO, HYUN JOON

ABSTRACT

The behavior of short span filled spandrel arch bridge of 10 and 21 m span with various axis line, rise and backfill height were investigated under the design loads(self weight, earth pressure, temperature load, live load, etc).

Even though the behaviors of arch were known as relatively complicated, the followings can be concluded within the limits of this study.

The design value of arch bridge increase as the rise decreases, the effects of temperature load become dominant for the design of arch bridge, and governing design factors are occured at springing.

1. 서 론

아치는 교탕 역사로 볼 때 고대 로마 시대에 처음 등장한 구조형식으로서, 다른 교탕보다 비교적 자연경관에 우아하게 어울리면서도 내구성이 커서 유지보수비가 적게 소요되는 구조물이므로 미적인 요소가 중요시되는 지역을 횡단할 경우 아치 형식의 교탕을 상당수 채택하고 있다.

일반적으로 콘크리트 아치교는 아치배면의 토사 채움 유무에 따라 폐복식 및 개복식 아치교로 구분하며, 폐복식 아치교는 지간 30m 내외의 비교적 단경간에, 개복식 아치교는 주로 장경간에 적용하고 있다.

아치교의 설계에서 가장 중요하고도 번거로운 작업의 하나는 아치축선의 결정이다. 아치 교탕의 설계 단면력은 아주 작은 축선의 변화에도 큰 영향을 받으며 축선의 결정은 아치교의 경제성을 좌우하는 매우 중요한 요인이다.

현재까지 다양한 축선식이 제안되고 사용되어 왔으나 어느 축선식이 경제적인가 하는 것은 실제로 구조해석을 수행하지 않고는 알 수가 없다.

본 연구에서는 기제안된 아치축선식에 대하여 다양한 설계조건하에서 구조해석을 수행하여 그 결과를 비교하므로써 일반 실무자들이 아치교의 축선을 결정할 때 이용할 수 있는 자료를 제시하고자 한다.

2. 축선식

아치축선이란, 아치리브의 단면도심을 연결하는 선을 말하며, 가능한 한 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것이 바람직하다.

축선식은 크게 기하학적 형상식과 이론적 형상식으로 분류할 수 있다. 기하학적 형상식은 고대로 부터 사용되어온 축선식으로 포물선, 반타원형, 반원형, 삼심원 및 다심원 등이 있다. 이론적 형상식은 하중의 분포상태를 함수로 표시하고 이 하중에 대한 압력선의 탄성방정식을 구한것으로 Melan, Strassner, Kögler 및 Cochrane 등이 제안한 식들이 사용되고 있으며 각각의 제안식에 대해서는 참고문헌 3에 상세히 소개되어 있다.

기하학적 형상식은 그림 1에서 아치의 스팬 L과 라이즈 f의 값이 주어지면 각 형상식에 따라 아치 축선이 자동적으로 결정된다. 그러나 이론적 형상식의 경우에는 축선식이 하중의 함수로 표시되기 때문에 동일한 스팬과 라이즈를 갖는 아치에서도 하중상태가 달라지면 축선이 변하게 되는데 최종적인 하중상태는 정확한 아치부재의 크기가 확정된후 이므로 이러한 축선식의 결정에는 반복작업이 필요하게 되는 번거로움이 있다. 그러나 이론적 형상식중 아래와 같은 Cochrane 식은 여러가지 실제예들을 분석하여 제안한 반경험적인 공식으로 기하학적 형상식과 같이 스팬과 라이즈가 주어지면 하중의 상태와 관계없이 일정한 축선이 결정된다.

본고에서는 각 축선식의 영향에 대한 일련의 작업에서 기하학적 형상식중 가장 보편적으로 사용되는 포물선식과 Cochrane식에 대한 해석결과를 소개하고자 한다.

$$y = \frac{4KL}{1+3K}\left[\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 24K\left(\frac{x}{L}\right)^5\right]$$

여기서 $K = \frac{f}{L}$

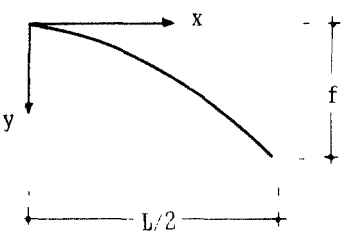

그림1

* 인하대학교 조교수
** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

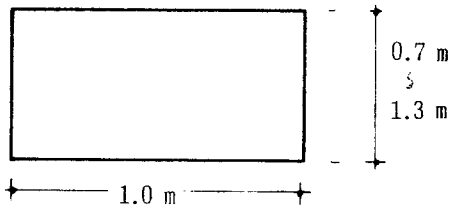

그림2

3. 해석모델

그림2는 해석대상 구조물의 단면형상으로 단위길이 1m 에 부재높이는 스팬에 따라 0.7m 에서 1.3m 사이의 값을 갖는다.

- 아치부재의 단위중량 : 2.5 t/m³
- 채움재의 단위중량 : 2.0 t/m³
- 수평토압 계수 : 0.25 ~ 0.5
- 열팽창 계수 : 10 x 10^{-6} / ℃
- 철근의 항복강도 : 3,000 kg/cm²
- 콘크리트의 설계기준강도 : 210 kg/cm²

그림3은 구조물의 형상과 구조물에 작용하는 하중의 종류 및 상태를 나타내고 있다.

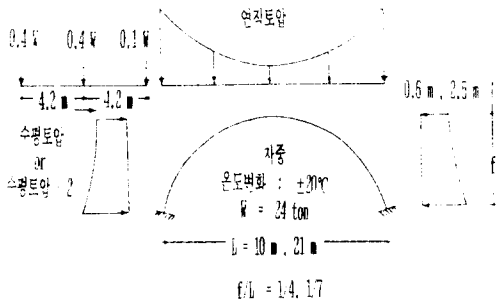

그림3

4. 고 찰

<표1> 은 지간이 10 m, 21 m 인 폐복식 아치교의 라이즈, 채움재의 높이 변화에 따른 2차 포물축선식과 Cochrane축선식의 내력거동 변화를 나타내고 있다.

전반적인 해석결과에 의하면, Cochrane 축선식이 2차포물선식 보다 설계에 유리한 결과를 주는 것으로 나타났으며, 스프링잉부에서의 부모멘트가 설계지배 인자임을 나타내고 있다.

또한 라이즈가 낮아질수록 설계값이 현저히 증가함을 알 수 있었으며, 각각의 설계하중이 설계값에 영향을 주는 비를 고려할 때 온도하중이 설계지배하중임을 알 수 있었다. 채움재 높이의 증가에 따라서는 설계지배요인을 부모멘트라 생각하면 채움재 높이의 증가에 따라 미량의 부모멘트(절대값) 증가가 있었으나 라이즈/스팬 비가 1/4인 경우의 Cochrane 축선식에서는 약 10 % 내외의 감소가 있었다. 즉, 본 연구범위 내에서는 채움재의 높이변화가 설계에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

한편, 전체하중에 대한 각각의 설계하중에 의해 차지되는 비는 최대압축력 발생시의 대응모멘트나 절대 최대모멘트 발생시의 대응압축력의 경우 심한 불균등 분포를 나타내나, 이는 설계에 전혀 중요하지 않다. 반면에 최대압축력 발생시와 절대 최대모멘트 발생의 경우 비교적 예상할 수 있었던 분포를 나타내며, 특히 절대최대모멘트 발생시 온도 하중의 영향이 지배적임을 알 수 있었다.

본 논문에서 고려한 하중외에도 철근 콘크리트 아치교의 설계시에는 콘크리트의 건조수축에 의한 영향을 고려해야 하는바, 콘크리트의 건조수축은 (-)온도하중에 상당하는 결과를 나타낼 것이기 때문에 하중의 조합 작용시 부모멘트의 절대값이 더욱 증가될 것으로 예상되며, 대응되는 압축력은 감소할 것이 예상되어 설계에 불리한 영향을 주게 될 것이다.

따라서 본 연구범위 내에서는 Cochrane 축선식이 2차포물선식 보다 설계상 유리한 것으로 나타났으나, 온도하중에 대해 보다 민감하게 반응되기 때문에 온도변화 폭이 큰 경우 Cochrane식이 반드시 유리하다고 만은 할 수 없다.

본 연구는 등단면에 대한 해석결과 만을 분석하였으나, 변단면에 있어서도 유사한 흐름의 해석결과를 나타낼것이 예상된다.

5. 결론

일반적으로 폐복식 아치교의 주된 설계지배인자는 스프링잉부의 부모멘트이며, 설계에 가장 큰 영향을 미치는 하중은 (-)온도하중과 이에 상당하는 하중들이다.

본 연구에서의 최종결과를 이용하면 아치의 여러가지 축선식에 대하여 해석하지 않고도 가장 유리한 축선식을 구할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 도로교 표준시방서, 건설부, 1983.
2. 콘크리트 표준시방서, 건설부, 1988.
3. 구민세, 황윤국, 조현준, "교량신공법 개발(제1차년도)", 한국건설기술연구원, 1989.
4. 구민세, 김긍환, 황윤국 등, "교량신공법 연구(최종보고서)", 한국건설기술연구원, 1990.
5. 홍성완, 김병석, 강석화, "교량 습작설계에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1986.
6. Leliavsky, S., Design Textbooks in Civil Engineering, Chapman & Hall, 1982, pp.1-47.
7. STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES, THIRTEENTH EDITION, 1983.

<표 1>

지간 : 10 m　　라이즈/스팬 : 1/4　　채움재의 높이 : 0.6 m　　Unit : t . m

구분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자중	(2) 연직토압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25		(4) 온도하중 (±20°C)	(5) 활하중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
최대 압축력	PARABOLA	0	P	13.1	16.1		-1.0	+	12.5	16.1	56.8	23	28	-2	22	28	
			M	-1.3	-3.3		-0.7		27.8	-1.7	20.8	-6	-16	-3	134	-8	
	COCHRANE	0	P	13.3	14.7		-0.8	+	9.7	17.1	54.0	25	27	-1	18	32	
			M	1.0	-0.2		-0.8		30.6	0.9	31.6	3	-1	-3	97	3	
최대 모멘트	PARABOLA	0	P	13.1	16.1		-1.0	+	12.5	8.0	48.7	27	33	-2	26	16	
			M	-1.3	-3.3		-0.7		27.8	3.9	26.4	-5	-13	-3	106	15	
	COCHRANE	0	P	13.3	14.7		-0.8	+	9.7	7.0	43.9	30	34	-2	22	16	
			M	1.0	-0.2		-0.8		30.6	5.5	36.2	3	-1	-2	85	15	
최소 모멘트	PARABOLA	10	P	13.1	16.1	-2.1		-	-12.5	8.8	23.3	56	69	-9	-53	38	
			M	-1.3	-3.3	-1.4			-27.8	-5.7	-39.5	3	8	4	70	14	
	COCHRANE	10	P	13.3	14.7	-1.5		-	-9.7	10.3	27.0	49	54	-6	-36	38	
			M	1.0	-0.2	-1.5			-30.6	-4.4	-35.6	-3	1	4	86	12	

지간 : 10 m　　라이즈/스팬 : 1/7　　채움재의 높이 : 0.6 m　　Unit : t . m

구분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자중	(2) 연직토압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25		(4) 온도하중 (±20°C)	(5) 활하중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
최대 압축력	PARABOLA	0	P	15.6	15.1		-0.5	+	46.2	21.1	97.5	16	15	-1	47	22	
			M	-2.8	-3.8		-0.2		49.5	-4.2	38.6	-7	-10	-1	129	-11	
	COCHRANE	10	P	16.0	14.9		-0.5	+	44.2	21.7	96.3	17	15	-1	46	23	
			M	-1.4	-2.1		-0.2		56.1	-1.5	50.9	-3	-4	0	110	-3	
최대 모멘트	PARABOLA	0	P	15.6	15.1		-0.5	+	46.2	11.8	88.2	18	17	-1	52	13	
			M	-2.8	-3.8		-0.2		49.5	2.6	45.3	-6	-8	0	109	6	
	COCHRANE	0	P	16.0	14.9		-0.5	+	44.2	11.5	86.1	19	17	-1	51	13	
			M	-1.4	-2.1		-0.2		56.1	3.6	56.0	-3	-4	0	100	6	
최소 모멘트	PARABOLA	10	P	15.6	15.1	-1.0		-	-46.2	8.0	-8.6	-184	-178	12	544	-94	
			M	-2.8	-3.8	-0.3			-49.5	-6.7	-63.1	4	6	0	78	11	
	COCHRANE	10	P	16.0	14.9	-1.0		-	-44.2	9.4	-4.9	-327	-304	20	902	-192	
			M	-1.4	-2.1	-0.4			-56.1	-6.2	-66.1	2	3	1	85	9	

<표 1>

지간 : 10 m　　라이즈/스팬 : 1/4　　재움재의 높이 : 2.5 m　　Unit : t . m

구 분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자 중	(2) 연 직 토 압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중		(5) 활 하 중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
									(±20 °C)			(%)					
최 대 압축력	PARA BOLA	0	P	13.1	41.8		-1.9	+	12.5	13.1	78.6	17	53	-2	16	17	
			M	-1.3	-5.3		-1.4		27.8	-0.8	19.1	-7	-28	-7	146	-4	
	COCH RANE	10	P	13.3	40.4		-1.4	+	9.7	14.0	76.0	18	53	-2	13	18	
			M	1.0	2.7		-1.5		30.6	1.5	34.4	3	8	-4	89	4	
최 대 모멘트	PARA BOLA	0	P	13.1	41.8		-1.9	+	12.5	7.4	72.8	18	57	-3	17	10	
			M	-1.3	-5.3		-1.4		27.8	2.9	22.8	-6	-23	-6	122	13	
	COCH RANE	0	P	13.3	40.4		-1.4	+	9.7	6.6	68.6	19	59	-2	14	10	
			M	1.0	2.7		-1.5		30.6	4.6	37.6	3	7	-4	82	12	
최 소 모멘트	PARA BOLA	10	P	13.1	41.8	-3.9		-	-12.5	7.9	46.4	28	90	-8	-27	17	
			M	-1.3	-5.3	-2.7			-27.8	-4.0	-41.1	3	13	7	88	10	
	COCH RANE	0	P	13.3	40.4	-2.9		-	- 9.7	10.5	51.6	26	78	-6	-19	20	
			M	1.0	2.7	-2.9			-30.6	-1.8	-31.6	-3	-9	9	97	6	

지간 : 10 m　　라이즈/스팬 : 1/7　　재움재의 높이 : 2.5 m　　Unit : t . m

구 분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자 중	(2) 연 직 토 압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중		(5) 활 하 중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
									(±20 °C)			(%)					
최 대 압축력	PARA BOLA	0	P	15.6	47.9		-1.2	+	46.2	18.2	126.7	12	38	-1	36	14	
			M	-2.8	-9.5		-0.4		49.5	-3.2	33.5	-8	-28	-1	147	-10	
	COCH RANE	10	P	16.0	48.6		-1.0	+	44.2	18.9	126.6	13	38	-1	35	15	
			M	-1.4	-4.8		-0.5		56.1	-1.4	48.0	-3	-10	-1	117	-3	
최 대 모멘트	PARA BOLA	0	P	15.6	47.9		-1.2	+	46.2	10.9	119.4	13	40	-1	39	9	
			M	-2.8	-9.5		-0.4		49.5	1.8	38.6	-7	-25	-1	128	5	
	COCH RANE	0	P	16.0	48.6		-1.0	+	44.2	10.8	118.5	13	41	-1	37	9	
			M	-1.4	-4.8		-0.5		56.1	2.9	52.3	-3	-9	-1	107	6	
최 소 모멘트	PARA BOLA	10	P	15.6	47.9	-2.3		-	-46.2	8.6	23.5	66	203	-10	-196	36	
			M	-2.8	-9.5	-0.8			-49.5	-5.2	-67.7	4	14	1	73	8	
	COCH RANE	10	P	16.0	48.6	-2.1		-	-44.2	9.6	27.9	57	174	-8	-158	34	
			M	-1.4	-4.8	-0.9			-56.1	-4.5	-67.7	2	7	1	83	7	

〈표 1〉

지간 : 21 m　　라이즈/스팬 : 1/4　　채움재의 높이 : 0.6 m　　Unit : t , m

구 분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자 중	(2) 연 직 토 압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중 (±20 °C)	(5) 활 하 중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6) (%)	(2)/(6) (%)	(3)/(6) (%)	(4)/(6) (%)	(5)/(6) (%)	비고
최 대 압축력	PARA BOLA	0	P	51.6	52.6		-4.0	+ 18.4	22.1	140.7	37	37	-3	13	16	
			M	-7.7	-18.8		-3.4	76.9	-2.5	44.5	-17	-42	-8	173	-6	
	COCH RANE	0	P	52.2	46.3		-2.9	+ 14.2	22.4	132.2	39	35	-2	11	17	
			M	10.4	-5.0		-5.7	94.5	-4.3	89.9	12	-6	-6	105	-5	
최 대 모멘트	PARA BOLA	0	P	51.6	52.6		-4.0	+ 18.4	14.8	133.4	39	39	-3	14	11	
			M	-7.7	-18.8		-3.4	76.9	13.4	60.5	-13	-31	-6	127	22	
	COCH RANE	0	P	52.2	46.3		-2.9	+ 14.2	15.1	124.9	42	37	-2	11	12	
			M	10.4	-5.0		-5.7	94.5	20.7	115.0	9	-4	-5	82	18	
최 소 모멘트	PARA BOLA	21	P	51.6	52.6	-8.0		- 18.4	13.5	91.3	57	58	-9	-20	15	
			M	-9.2	-26.0	-10.7		-85.8	-17.1	-148.8	6	17	7	58	11	
	COCH RANE	21	P	52.2	46.3	-5.9		- 14.2	13.9	92.3	57	50	-6	-15	15	
			M	10.4	-5.0	-11.4		-94.5	-12.4	-112.8	-9	4	10	84	11	

지간 : 21 m　　라이즈/스팬 : 1/7　　채움재의 높이 : 0.6 m　　Unit : t , m

구 분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자 중	(2) 연 직 토 압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중 (±20 °C)	(5) 활 하 중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6) (%)	(2)/(6) (%)	(3)/(6) (%)	(4)/(6) (%)	(5)/(6) (%)	비고
최 대 압축력	PARA BOLA	0	P	62.6	44.0		-1.8	+ 69.6	31.4	205.8	30	21	-1	34	15	
			M	-18.9	-23.5		-1.2	156.6	-7.3	105.7	-18	-22	-1	148	-7	
	COCH RANE	21	P	64.3	42.3		-1.6	+ 66.6	30.5	202.0	32	21	-1	33	15	
			M	-6.4	-12.8		-1.3	177.8	-7.3	149.9	-4	-9	-1	119	-5	
최 대 모멘트	PARA BOLA	0	P	62.6	44.0		-1.8	+ 69.6	25.4	199.8	31	22	-1	35	13	
			M	-18.9	-23.5		-1.2	156.6	8.9	121.9	-16	-19	-1	128	7	
	COCH RANE	0	P	64.3	42.3		-1.6	+ 66.6	25.2	196.7	33	21	-1	34	13	
			M	-6.4	-12.8		-1.3	177.8	14.1	171.4	-4	-7	-1	104	8	
최 소 모멘트	PARA BOLA	21	P	62.6	44.0	-3.6		- 69.6	17.9	51.1	122	86	-7	-136	35	
			M	-18.9	-23.5	-2.4		-156.6	-21.1	-222.4	8	11	1	70	9	
	COCH RANE	21	P	64.3	42.3	-3.2		- 66.6	22.1	58.8	109	72	-5	-113	38	
			M	-6.4	-12.8	-2.6		-177.8	-18.4	-218.0	3	6	1	82	8	

<표 1>

지간 : 21 m　　라이즈/스팬 : 1/4　　재움재의 높이 : 2.5 m　　Unit : t . m

구분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자중	(2) 연직토압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중	(4) 온도하중 (±20 °C)	(5) 활하중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
												(%)					
최대 압축력	PARABOLA	21	P	51.5	107.1		-5.9	+	18.4	20.0	191.2	27	56	-3	10	10	
			M	-7.7	-25.0		-5.4		76.9	-5.3	33.5	-23	-75	-16	230	-16	
	COCHRANE	0	P	52.2	100.8		-4.4	+	14.2	20.5	183.3	28	55	-2	8	11	
			M	10.4	10.1		-8.8		94.5	0.5	106.7	10	9	-8	89	0	
최대 모멘트	PARABOLA	11.9	P	34.9	65.5		4.3	+	-25.5	12.2	91.5	38	72	5	-28	13	
			M	-2.4	-1.0		-2.4		47.1	8.1	54.2	4	-2	-4	87	15	
	COCHRANE	0	P	52.2	100.8		-4.4	+	14.2	11.9	174.7	30	58	-3	8	7	
			M	10.4	10.1		-8.8		94.5	18.1	124.3	8	8	-7	76	15	
최소 모멘트	PARABOLA	21	P	51.5	107.1	-11.8		-	-18.4	14.8	143.3	36	75	-8	-13	10	
			M	-9.2	-33.0	-16.5			-85.8	-16.2	-160.6	6	21	10	53	10	
	COCHRANE	21	P	52.2	100.8	- 8.7		-	-14.2	15.3	145.4	36	69	-6	-10	11	
			M	10.4	10.1	-17.7			-94.5	-11.5	-103.2	-10	-10	17	92	11	

지간 : 21 m　　라이즈/스팬 : 1/7　　재움재의 높이 : 2.5 m　　Unit : t . m

구분	축선식	발생점	하중구분	(1) 자중	(2) 연직토압	(3) 수평토압 0.5	(3) 수평토압 0.25	(4) 온도하중	(4) 온도하중 (±20 °C)	(5) 활하중 (충격포함)	(6) Total	(1)/(6)	(2)/(6)	(3)/(6)	(4)/(6)	(5)/(6)	비고
												(%)					
최대 압축력	PARABOLA	21	P	62.6	115.1		-3.2	+	69.6	27.6	271.7	23	42	-1	26	10	
			M	-18.9	-44.0		-2.2		156.6	-2.8	88.8	-21	-50	-2	177	-3	
	COCHRANE	21	P	64.3	115.1		-2.9	+	66.6	27.3	270.4	24	43	-1	25	10	
			M	-6.4	-18.8		-2.5		177.8	3.7	153.8	-4	-12	-2	116	2	
최대 모멘트	PARABOLA	10.5	P	52.0	91.7		2.1	-	-79.8	23.0	89.0	58	103	2	-90	26	
			M	9.0	11.8		-0.6		83.0	8.7	111.8	8	11	-1	74	8	
	COCHRANE	0	P	64.3	115.1		-2.9	+	66.6	20.7	263.9	24	44	-1	25	8	
			M	-6.4	-18.8		-2.5		177.8	12.6	162.7	-4	-12	-2	109	8	
최소 모멘트	PARABOLA	21	P	62.6	115.1	-6.3		-	-69.6	14.7	116.4	54	99	-5	-60	13	
			M	-18.9	-44.0	-4.5			-156.6	-19.2	-243.0	8	18	2	64	8	
	COCHRANE	21	P	64.3	115.1	-5.7		-	-66.6	16.4	123.5	52	93	-5	-54	13	
			M	-6.4	-18.8	-4.9			-177.8	-16.4	-224.4	3	8	2	79	7	