

캐워크 구조물의 공기역학적 특성

Aerodynamic Characteristics of Catwalk Structures

이승호* · 이한규** · 권순덕† · 김종화**

Seung-Ho Lee, Han-Kyu Lee, Soon-Duck Kwon and Jong-Hwa Kim

Key Words : Catwalk(캐워크), Suspension Bridge(현수교), Wind Tunnel Test(풍동실험), Aerostatic coefficient(정적공기력계수), Reynolds number(레이놀즈수)

ABSTRACT

Catwalk structures are temporary walk ways for erection of main cables in suspension bridge. The aerodynamic characteristics of the catwalk structures are not well studied even though the catwalk structures are sensitive to wind action because of its flexibility. Present study demonstrates technical results obtained from wind tunnel tests of various catwalk structures. To obtain the aerostatic force coefficients of the floor system of catwalk, 1/14 and 1/4 scaled partial rigid models were fabricated and tested at the wind tunnel. In order to investigate the Reynolds number effects, the aerostatic force coefficients were measured at various wind velocities ranged from 5m/s to 30m/s. The test results revealed that the Reynolds number effects on aerostatic coefficients were not significant for the catwalk floor systems. An empirical equation for aerostatic force coefficients of catwalk are proposed based on the measured results.

1. 서 론

캐워크는 현수교의 주케이블 가설을 위해 일시적으로 설치하는 공중작업발판으로, 주케이블 가설장비와 작업원 등의 하중을 지지하게 된다. 최근 교량의 장대화로 인해 현수교의 경간장이 점점 길어짐에 따라 이에 비례하게 캐워크 역시 매우 유연해져 풍하중에 의해 상당한 변형이 발생하게 된다. 하지만 캐워크는 영구 구조물이 아닌 임시구조물이라는 인식 때문에 캐워크의 동적 거동에 대한 적절한 평가가 수행되지 못했다. 일부 연구자들이 캐워크 충실률에 따른 공기력을 측정하는 풍동실험⁽¹⁾을 진행하였으나, 구체적인 공기력이 제안되지 않아 캐워크 단면에 대한 적절한 풍하중을 산정하지 못하였고,

현재 캐워크 설계시 대부분 경험에 의존하여 설계를 진행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 캐워크 구조물에 작용하는 공기역학적 특성을 파악하고자 먼저 캐워크에 대한 정적 공기력계수를 측정하는 실험을 수행하였다. 실험시 변수로 측면과 하부의 메쉬망의 충실률에 달리 하여 충실률에 따른 공기력의 변화에 대하여 살펴보았다. 아울러 레이놀즈수에 대한 영향을 평가하기 위하여 1/4모형과 1/14모형으로 그 크기를 달리하고, 최대풍속 30m/s까지 변화시켜 공기력계수를 측정하였다. 마지막으로 측정된 실험 결과를 바탕으로 캐워크 풍하중 산정을 위한 설계식을 제안하였다.

2. 캐워크 설계를 위한 공기력 산정

2.1 연구대상 구조물

본 연구의 대상이 되는 구조물은 묘도-광양간 현수교(이하 광양대교) 대안설계의 케이블 가설공사를 위한 캐워크이다.

† 교신저자, 정회원, 전북대학교 토목공학과

E-mail : sdkwon@chonbuk.ac.kr

Tel : 063-270-2289, Fax : 063-270-4814

* 전북대학교 토목공학과

** (주)DM엔지니어링



Figure 1 Catwalk of Kwangyang Bridge alternative

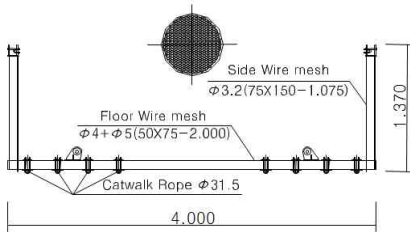


Figure 2 Catwalk structures

본 연구에서 사용한 교량 모델은 현재 건설중인 교량이 아닌 공모 과정에서 나왔던 설계안 중의 하나이다. 연구대상 교량은 총연장 2,260m, 주경간장 1,430m의 타정식 플로팅 타입 현수교이다. 케이블과 캐트워크의 새그(Sag)비는 1/10.5를 사용하였다. 광양대교(대안)의 개요도는 Figure 1에 나타나 있다.

본 연구의 대상인 캐트워크는 지름 31.5mm인 캐트워크 로프(catwalk rope) 8가닥, 지름 31.5mm인 핸드 로프(hand rope) 2가닥, 메쉬망(wire mesh), 나무발판(wooden step), 핸드포스트(hand post) 등으로 구성되어 있다. 캐트워크 단면크기는 폭 4.0m, 높이 1.37m이며, 캐트워크 로프의 탄성계수는 1.6×10^5 MPa를 갖는다. 측면부 메쉬망은 $\phi 3.2(75 \times 150 - 1075)$, 바닥면 메쉬망은 $\phi 5(50 \times 75 - 2000)$ 를 사용했으며, 각각의 충실률은 측면부 7%, 하면부 16%이다. 캐트워크 단면은 Figure 2에 나타나 있다.

2.2 풍동실험

(1) 실험 시설 및 장비

풍동실험은 전북대학교 대형풍동실험센터의 소형 풍동과 대형풍동의 고속시험부에서 수행하였다. 소형풍동은 시험부의 크기는 1m(폭)×1.5m(높이)×6m(길이)이며 최대풍속은 20m/s이고, 대형풍동 고속시험부는 크기는 2.5m(높이)×5m(폭)×20m(길이)이며 최대풍속은 31m/s이다.

정적 공기력은 JR3사의 6분력 로드셀을 모형에 설치하여 공기력을 직접 측정하였다. 측정에 사용한 로드셀의 최대 측정 범위는 축방향 2,000N, 교축방향 1,000N이다. 평균풍속은 피토 튜브와 Furness Controls사의 압력계를 사용하였다.

(2) 실험 모형

레이놀즈수의 영향을 살펴보기 위하여 1/14모형 길이가 0.9m이며 소형풍동에서, 1/4모형은 길이가 2m이며 대형풍동 고속시험부에서 공기력계수 측정 실험을 수행하였다. 모형 제작시 메쉬망을 축소하면 지름이 너무 작아져서 실제 구조물과 똑같이 제작이 힘든점을 감안하여 메쉬망 소선의 굵기는 무시하고 충실률만 일치하도록 모형을 제작하였다.

(3) 실험 조건

캐트워크에 작용하는 공기역학적 특성을 평가하기 위하여 다음과 같은 세가지 변수에 대한 실험을 수행하였다.

- ① 레이놀즈수에 대한 영향
- ② 충실률에 대한 영향
- ③ 케이블 유무에 대한 영향

먼저 레이놀즈수에 대한 영향을 평가하기 위하여 1/4모형과 1/14모형 2가지로 모형을 제작하여 최대 풍속 30m/s까지 공기력을 측정하였다.



Figure 3 Wind tunnel at Chonbuk National Univ.



Figure 4 6-component loadcell(JR3)

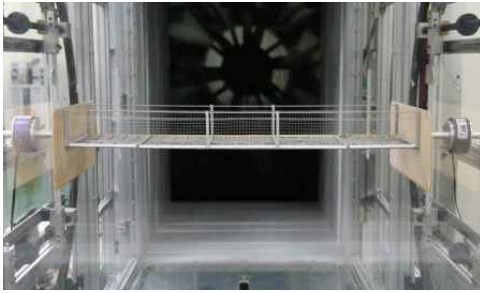


Figure 5 Catwalk models in wind tunnels

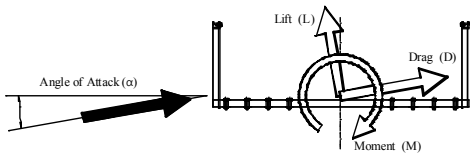


Figure 6 Definition of aerodynamic forces

Table 1 Test parameters

No.	scale	ratio of fullness(%)		main cable position
		side	bottom	
Re01	1/14	8	14	×
Re02	1/4	9	16	×
SR01	1/4	0	0	×
SR02		5.5	16	×
SR03		9		×
SR04		16		×
SR05		19		×
SR06		23.5		×
SR07	1/4	9	16	×
SR08			19	×
SR09			23.5	×
SR10			28	×
SR11			30.5	×
MC01			1/4	5.5
MC02	16	1/4		
MC03	9	16		1/2
MC04				1/4

또한 충실률은 설계 공기력에 중요한 요인이므로, 측면부와 하부로 구분하여 실험을 진행하였다. 마지막으로 주케이블의 위치를 중앙과 1/4지점으로 달리 하여 공기력의 변화에 대하여 살펴보았다. 실험 조건은 Table 1에 공기력의 정의는 Figure 6에 나타나 있다.

2.3 실험 결과

(1) 레이놀즈수의 영향

1/14모형과 1/4모형의 항력계수는 Figure 7에 나타나 있다. 실험 결과 레이놀즈수의 증가와 상관없이 일정한 항력계수를 보이며, 이는 메쉬망은 원형봉으로 되어 있지만 캐트워크의 전체적인 구조가 각진 구조물의 형태에 가까우므로 유동 박리점이 일정하여 레이놀즈수의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

(2) 충실률의 영향

충실률 변화에 따른 공기력의 영향을 살펴보기 위하여 측면부와 하부 메쉬망의 충실률을 다양하게 변화시키면서 그에 따른 영향을 파악하였다.

실험 결과 측면부 충실률은 항력계수와 피칭모멘트계수에 영향을 미치며, 하부 충실률은 양력계수의 기울기 값에 영향을 주는 것으로 나타났다. 실험 결과는 Figure 8~9에 나타나 있다.

(3) 주케이블 유무에 따른 영향

주케이블이 설치됨에 따라 캐트워크 내부의 형태가 달라지게 되며, 주케이블은 캐트워크 구조물과 완전히 결합되어 있지 않으므로 풍하중에 의한 변위량이 달라지게 된다. 이에 따른 영향을 파악하고자 1/2, 1/4 지점으로 주케이블의 위치를 달리하여 측정한 결과 공기력에 약간의 변화가 보인다. (Figure 10)

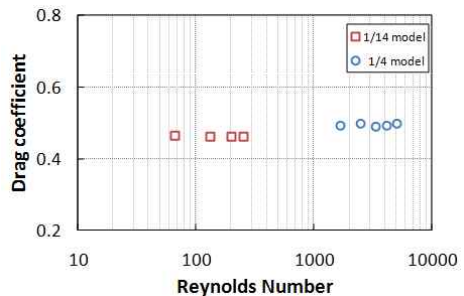


Figure 7 Drag coefficients according to Reynolds number.

하지만 그 변화량이 미미하며 주케이블 설치시의 공기력이 안전측의 결과를 보이므로, 설계시 주케이블의 영향은 무시하여도 무방한 것으로 판단된다.

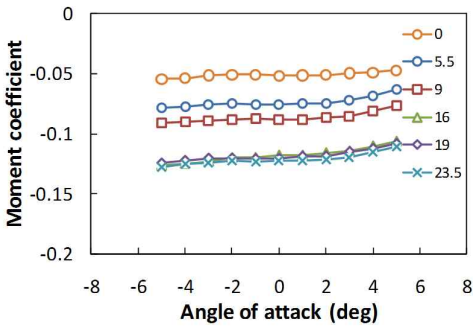
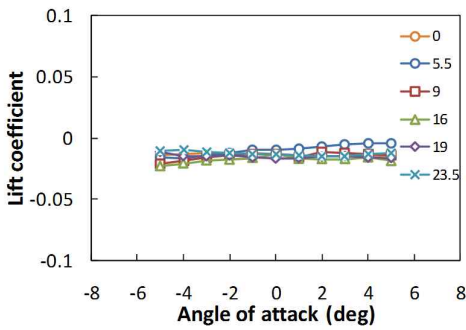
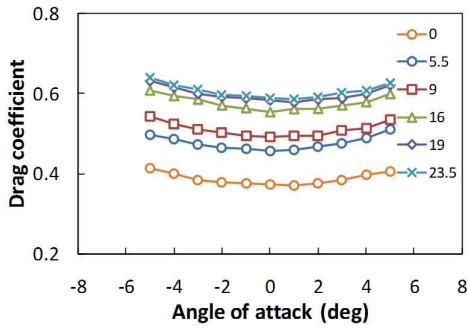


Figure 8 Effects of side solidity ratio

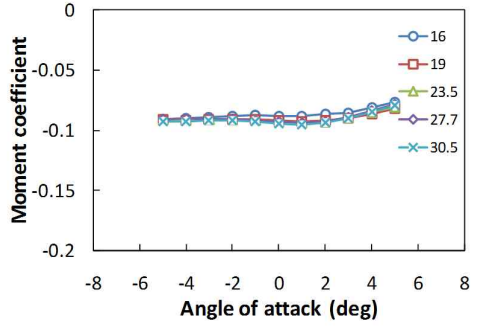
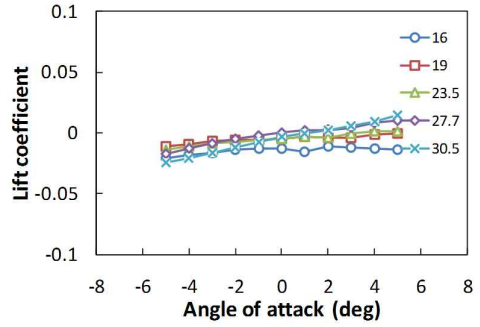
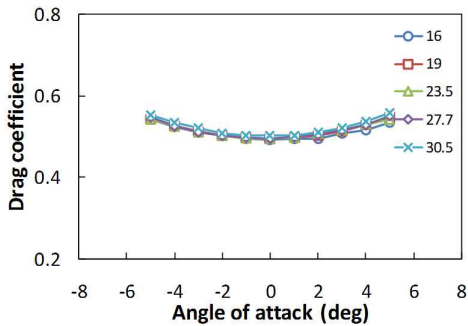
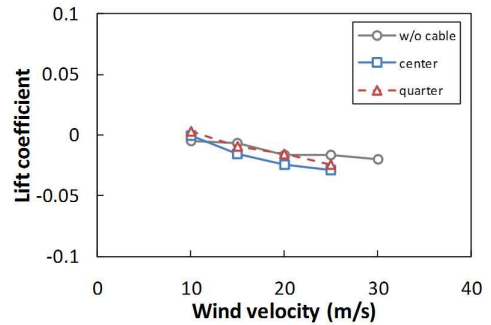
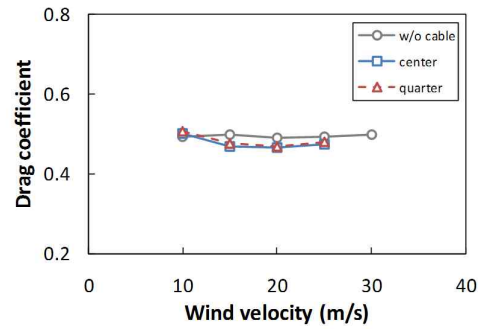


Figure 9 Effects of bottom solidity ratio



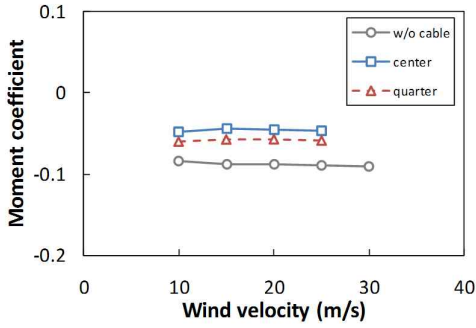


Figure 10 Effects of main cable

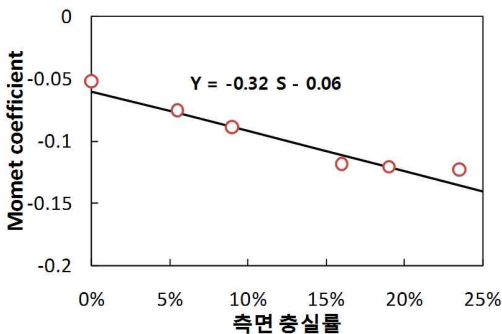
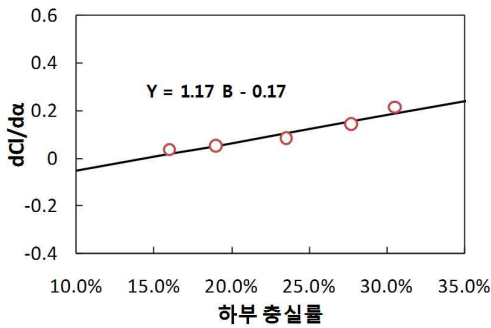
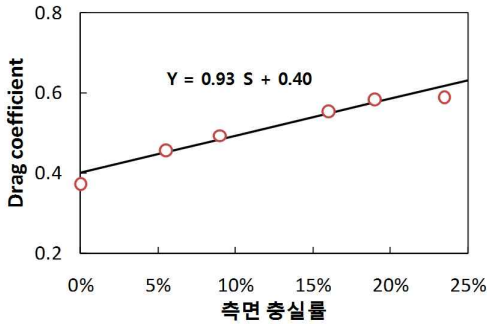


Figure 11 Regression curves for aerostatic coefficients

3. 설계식 제안

캐워크 구조물의 공기력측정 풍동실험 결과를 모두 정리해보면, 캐워크는 레이놀즈수의 영향을 받지 않으며, 주케이블의 유무 및 위치 영향을 미미하며 주케이블이 없을시 공기력계수를 사용하면 보다 안전측인 것으로 나타났다. 반면 메쉬망의 충실률은 공기력계수에 상당한 영향을 미치므로 설계시 반드시 이를 고려하여야 한다.

본 연구를 통해 충실률에 따른 캐워크에 작용하는 정적 공기력계수의 설계식을 다음과 같이 제안하고자 한다. 이때 충실률은 철망이 차지하는 면적을 단위면적으로 나눈 값으로 정의하였다. 충실률에 따른 항력계수, 양력계수의 기울기, 피칭모멘트계수의 설계식은 Figure 11에 나타나있다.

$$C_D = 0.93 \times \varphi_s + 0.40 \quad (1)$$

$$C_L \approx 0 \quad (2)$$

$$C_M = -0.32 \times \varphi_s - 0.06 \quad (3)$$

$$\frac{dC_L}{d\alpha} = 1.17 \times \varphi_b - 0.17 \quad (4)$$

$$\frac{dC_M}{d\alpha} \approx 0 \quad (5)$$

(φ_s : 측면 충실률, φ_b : 하부 충실률)

4. 결 론

캐워크는 현수교 시공을 위하여 반드시 설치해야 되는 구조물이다 그러나 주케이블 가설 기간동안만 일시적으로 설치하는 관계로 엄밀한 설계가 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 보다 합리적인 캐워크 설계를 위해 캐워크 구조물의 공기역학적 특성을 파악하고자 다양한 조건하 풍동실험을 수행하였고, 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 풍속과 모형 스케일을 달리하여 레이놀즈수에 따른 공기력의 변화를 살펴보았으며, 실험 결과 캐워크 구조물은 레이놀즈수의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

2. 항력계수의 경우 측면 충실률의 영향은 상당하

나, 하부 충실물의 영향은 받지 않는 것으로 나타났다. 양력계수의 경우 측면과 하부 충실물의 영향을 받지 않으며, 하부 충실물이 양력계수의 기울기에만 영향을 주는 것으로 나타났다. 피칭모멘트계수의 경우 항력계수와 유사한 경향을 보이나, 항력계수에 비해 그 영향은 크지 않는 것으로 나타났다.

3. 케이블 유무에 따른 공기력의 변화를 살펴보았으며, 실험 결과 케이블의 유무나 위치에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

4. 다양한 충실물 조건하 풍동실험을 통해 설계에 활용이 가능한 충실물에 따른 풍하중 설계식을 제안하였다.

후 기

이 연구는 초장대교량사업단 제1핵심과제를 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업 (08기술혁신E01)에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

(1) S. Zhen, H. Liao, and Y. Li, 2007, Stability of suspension bridge catwalks under a wind load, *Wind and Structure*, Vol. 10, No. 4.

(2) T. Hojo, S. Yamazaki, and H. Yamaguchi, 1995, Experimental study on countermeasure for maninduced vibration of catwalk without storm system, *J. of Structural Engineering, JSCE*, 41A(in Japanese)

(3) Lee, S. H., and Kwon, S. D., 2009, Extraction of Bridge Flutter Derivatives by a Forced Excitation, *Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 19, No. 6, pp. 575~582.

(4) E. Simiu and R.H. Scanlan, 1996, *Wind Effects on Structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York.