Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 29, No. 2, pp. 53-61, April 2014
Copyright@2014 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803) *All right reserved.*
http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2014.29.2.053

지역별 기본풍속과 공사기간을 반영한 시스템 동바리 설계 풍하중 분석

이선우 · 원정훈†** · 마호성**

현대건설 · *충북대학교 안전공학과 · **호서대학교 토목공학과

(2014. 1. 29. 접수 / 2014. 4. 2. 채택)

Analysis of Design Wind Load Level for System Supports Considering Local Basic Wind Velocity and Construction Period

Sun-Woo Lee · Jeong-Hun Won†** · Ho-Seong Mha**

Hyundai E&C · *Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

**Department of Civil Engineering, Hoseo University

(Received January 29, 2014 /Accepted April 2, 2014)

Abstract : This study evaluated wind loads considering a local basic wind velocity and construction periods to define the level of applied wind loads for system supports. Structural responses of system supports were examined and compared to those of system supports with the level of wind loads following various standards and specifications for permanent and temporary structures. And, the maximum combined stress ratios were estimated to evaluate the structural safety of a considered system support. From results, it was found that the wind load level should be applied in accordance with construction periods when estimating the safety of system supports. Looking into the response by change of the basic wind velocity according to local regions, it is no need to consider wind loads in regions with the basic wind velocity of 30 m/s. However, it was analyzed that wind loads should be considered in the regions with the basic wind velocity of 40 m/s or above. In addition, wind loads should be considered in designing system supports located at the region with the basic wind velocity of 35 m/s starting from construction period of 1.5 years. The standard specification for temporary work was analyzed as an incorrect standard in evaluating wind loads, since it underestimated the response of system supports in accordance with the local basic wind velocity and construction periods.

Key Words : wind load, local basic wind velocity, construction period, system support, combined stress ratio

1. 서 론

국내 건축 및 토목 구조물 설계기준[1),2)]에서는 변동풍속을 갖는 풍하중에 의한 구조물의 응답을 평가하기 위하여 동적 풍하중이 구조물에 미치는 영향을 확률과 통계학적인 방법으로 평가된 결과와 동등한 효과의 정적하중을 제시하여 설계 풍하중을 산정하고 있다. 그러나 시스템 동바리와 같은 가설 구조물의 경우, 영구구조물과 달리 설치 후 해체까지의 존치 기간이 짧아 풍하중 규모를 명확히 정의하기는 쉽지 않으므로 풍하중의 영향을 고려하지 않고 설계되는 경향이 강하다.

대표적인 가설 구조물의 기준인 가설공사표준시방서[3)]에서는 건축구조기준[1)]에 근거한 풍하중 수준을 정의하고 있으며, 또한 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침[4)]에서는 풍하중과 같이 가설 작업 중 특수하게 발생하는 수평하중의 영향은 별도로 고려하도록 하고 있다. 그러나 대부분의 현장에 적용되는 시스템 동바리는 풍하중에 대한 검토 없이 고정하중만 고려하여 안전성을 검토한 후 사용되고 있다. 일부 기술팀을 갖고 있는 회사에서는 3차원 구조해석을 통해 풍하중을 구조검토에 반영하고 있으나 적용 풍하중의 수준에 대한 명확한 기준 없이 영구 구조물의 설계 풍압을 적용하고 있다. 현재 보편적으로 적용되는 단순한 구조계산에서는 풍하중을 고려하지 않은 경우를 지배 하중조합으로 적용하고 있으나, 풍하중의 영향을 반영할 경우, 지역별 특성과 공사기간에 따라 풍하중이 적용된

† Corresponding Author : Jeong-Hun Won, Tel : +82-43-261-2459, E-mail : jhwon@chungbuk.ac.kr
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 52, Naesudong-ro, Heungdeok-gu, Chungbuk 361-763, Korea

하중조합이 지배 하중조합이 될 수 있다.

최근 기술의 발전으로 구조물의 응답에 영향을 미치는 풍하중에 대한 다양한 연구가 국내에서 활발히 진행되고 있다[5),6),7),8),9),10),11),12)]. 그러나 대부분의 연구는 영구 구조물에 대한 것으로써 시스템 동바리와 같은 가설 구설물의 풍하중 응답에 대한 연구는 미비하다. 장대 구조물의 경우, 설계 시 구조 시스템의 변화와 공사기간 등을 반영하여 시공 중 풍속을 산정하고 가설 중 풍하중 수준을 검토하여 적용하고 있다[13)]. 반면, 구조검토를 수행하여야 하는 대표적인 가설 구조물인 시스템 동바리에 대해서는 공사기간 등을 반영한 적정 수준의 풍하중 기준에 대한 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 설계 수준으로 시공되는 시스템 동바리를 대상으로 지역별 특성에 따른 기본풍속과 공사기간을 매개변수로 하여 풍하중에 대한 시스템 동바리의 구조 응답특성을 분석하였다. 또한, 가설공사표준시방서[3)] 및 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침[4)]의 풍하중 수준을 분석하여 시스템 동바리와 같은 가설 구조물에 적용 가능한 풍하중 수준을 제시하였다.

2. 풍하중 산정 방법

2.1. 설계기준에 따른 풍하중 산정 방법

구조물 설계 풍하중은 일반적으로 단위 면적당 작용하는 풍압의 크기로 제시되며, 설계 기준풍속, 공기밀도, 풍력계수 및 거스트 응답계수를 반영하여 다음 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$p = \frac{1}{2}\rho V_z^2 C_f G_f \tag{1}$$

여기서, p는 풍압(N/mm^2), ρ는 공기밀도($=1.25\,kg/m^3$), C_f는 풍력계수(보통, 항력계수가 사용됨), G_f는 거스트 응답계수, V_z는 설계 기준풍속(m/s)이다. 설계 기준풍속은 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_z = V_{10} \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \tag{2}$$

여기서, V_{10}은 기본풍속(m/s), K_{zr}은 풍속 고도분포계수이며 K_{zt}는 지형계수, I_w는 건축물의 중요도계수이다. 건축구조기준[1)]과 달리 도로교설계기준[2)]에서는 기본풍속과 풍속 고도분포계수만 고려하고 지형계수와 중요도계수는 1로 규정하고 있다.

기본풍속은 지표면 조도구분 C인 지역의 지표면으로부터 10 m 높이에서 10분간 측정한 평균풍속에 대한 100년 재현주기풍속을 의미하며, 지역 특성에 따라 변화한다. 국내의 경우, 동일 지역이라도 건축구조기준과 도로교설계기준에서 기본풍속 값이 다른 지역이 존재하는 것은 주목할 점이며, 향후 개선이 필요한 부분이다. 국내 설계기준의 풍속 고도분포계수는 경험적으로 유도된 지수법칙에 의해 정의되며, 풍속의 고도, 지표조도 등을 반영하고 있다.

중요도계수는 구조물의 용도 및 규모 등에 따라 결정되는 사용기간에 대한 것으로써, 안전성 확보를 위해 구조물의 사용기간 보다 긴 풍속의 재현기간을 이용하여 적용하도록 하고 있다. 건축구조기준[1)]에서의 중요도계수는 다음 식 (3)과 같이 산정된다.

$$I_w = 0.603 - 0.087\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \tag{3}$$

여기서, T는 재현기간(년)이다.

가설공사표준시방서[3)]에서는 중요도계수를 가설 구조물의 존치기간이 2년 이하인 경우 0.63을, 5년 이하인 경우를 0.81로 정의하고 있다. 일반적으로 공사기간에 비해 재현기간은 길게 산정되며, 식 (3)에서 재현기간 2년일 경우 중요도계수는 0.635, 재현기간 5년일 경우 중요도계수는 0.733이므로, 가설공사표준시방서에서 정의한 존치기간은 잘못된 표현이다. 또한 식 (3)에서는 재현기간과 중요도계수의 관계를 정의 하였으나, 재현 기간과 공사기간(존치기간)의 관계식을 별도로 정의하고 있지 않아 설계자가 중요도계수 산정 시 어려움을 겪을 수 있다.

2.2. 공사기간에 따른 풍하중 산정 방법

설계기준에서 정하는 풍하중의 수준은 영구 구조물 기준이며, 바람의 재현기간은 100년을 기본으로 하고 있다. 반면, 시공 중 구조시스템과 완성단계 구조시스템이 달라 공사기간을 반영할 필요가 있는 특수 교량 등에서는 공사기간을 반영한 풍하중 재현기간을 산정하고, 이를 바탕으로 다음 식 (4)와 같이 시공 중 풍속 기대치(V_c)를 산정할 수 있다[13)]. 산정된 풍속 기대치는 중요도계수를 내포한 공사기간의 기본풍속으로 적용된다. 즉, 식 (4)의 V_{10} 우측 항은 중요도계수의 개념과 같은 의미를 나타낸다.

$$V_c = V_{10} \times \frac{0.61 - 0.1\ln\left[\ln\left(\frac{R}{R-1}\right)\right]}{1.07} \tag{4}$$

여기서, V_{10}는 기본풍속(m/s)이고, R은 재현기간(년)으로 공사기간동안에 풍속이 재현기간의 풍속기대치를 초과하지 않을 확률(P)은 지역의 자료를 이용하여 구할 수 있으며, 또는 다음과 같은 식을 적용할 수 있다[14].

$$P=\left(1-\frac{1}{R}\right)^{N} \tag{5}$$

$$R=\frac{1}{1-(P)^{1/N}} \tag{6}$$

여기서, N은 공사기간(년)이고 R은 재현기간(년)이며 P는 비초과 확률이다. 영구 구조물에서의 기본풍속은 지상 10 m 높이에서 재현기간 100년에 대한 비초과 확률 60%에 해당하는 풍속이나, 가설 중 풍속기대치의 경우 비초과 확률을 80%로 상향하여 적용한다.

본 연구에서는 식 (4)와 (6)을 반영한 공사기간에 따른 설계기준풍속을 산정하였다. 비록 가설 구조물의 공사기간이 작다고는 하지만, 설계시 풍하중의 적용은 단순히 공사 기간을 정의하는 것이 아니라 공사시기와 풍하중의 불확실성을 반영하여 풍하중의 수준을 정의하는 것이므로 식 (4)의 적용은 타당하다고 판단된다.

3. 대상 시스템 동바리와 적용 풍하중

3.1. 대상 시스템 동바리와 모델링

대상 시스템 동바리는 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침[4]의 부록 편에 실린 RC 라멘교의 시스템 동바리이다(Fig. 1). 콘크리트 슬래브의 두께는 0.9 m, 폭원은 10.0 m이며, 슬래브를 지지하는 시스템 동바리의 높이는 6.2 m이다. 시스템 동바리 수직재의 교축 직각방향 간격은 0.9 m이고, 교축방향 간격은 1.2 m이다. 또한 수평재 설치 간격은 1.8 m이다. 시스템 동바리의 단면 제원과 사용 강종은 Table 1과 같다.

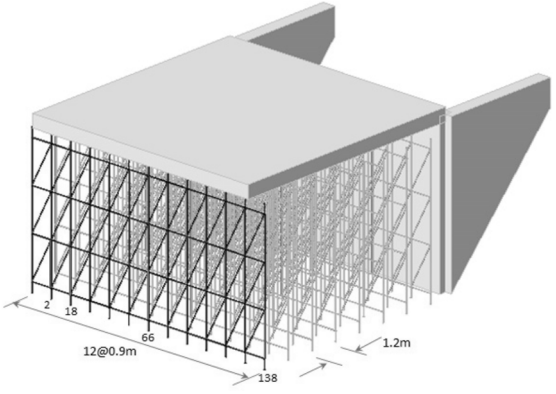

Fig. 1. Considered system supports

Table 1. Dimensions and steel type of system supports.

Structural member	Dimension	Steel type
Vertical member 1(General part)	∅60.5 mm×3.2 mm	STK400
Vertical member 2(U head, Jack base)	∅48.6 mm×6.0 mm	STK400
Horizontal member	∅42.7 mm×2.3 mm	STK400
Inclined member	∅42.7 mm×2.3 mm	STK400

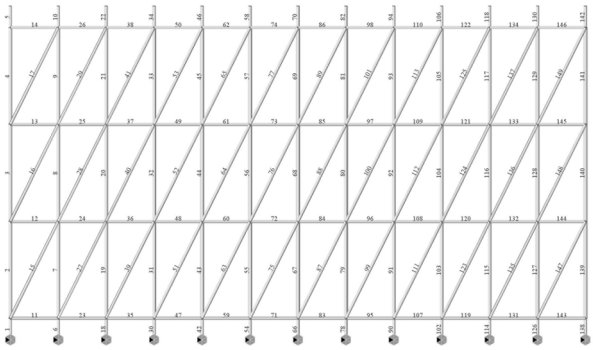

Fig. 2. Modelling configuration of system supports

대상 시스템 동바리의 모델링은 유한요소 해석 프로그램인 Midas Civil 2012를 이용하였다(Fig. 2). 3차원 모델링 대신 비교적 정확한 결과를 보이며, 대상 동바리 설치 특성상 교축방향보다 교축 직각방향의 풍하중 영향이 크므로 교축 직각방향의 2차원 모델을 적용하였다. 모든 부재는 보 요소로 모델링되었으며, 동바리 하단의 경계조건은 힌지로, 수직재와 수직재의 연결은 연속재로, 수직재와 수평재의 연결은 힌지 연결로, 수직재와 경사재 및 수평재와 경사재의 연결부는 힌지 연결로 가정하였다.

작용 하중으로 풍하중 외에 고정하중, 활하중, 수평하중이 적용되었다. 고정하중은 콘크리트 자중 24 kN/m^{3}와 거푸집의 무게 0.4 kN/m^{2}를, 활하중은 콘크리트 타설시 작업원, 경량의 장비하중, 시공하중, 그리고 충격 등을 반영하여 3.75 kN/m^{2}를 적용하였다. 또한 타설시의 충격 또는 시공오차 등에 의한 최소 수평하중으로 고정하중의 2% 이상 또는 수평 길이 당 1.5 kN/m 이상 중에서 큰 값인 고정하중의 2%를 수직부재의 최상단에 작용하였다.

3.2. 풍하중 산정

공사기간에 따른 풍하중 크기는 0.5년부터 5년까지의 공사기간에 따라 재현기간을 산출하고 재현기간에 대한 풍속을 계산한 후 단위 면적당 작용하는 풍압으로 산정되었다. 기본풍속은 30 m/s, 35m/s, 40 m/s, 45

m/s를 고려하였으며, 지형계수는 1.0, 거스트 응답계수는 1.9, 풍력계수로는 항력계수를 적용하여 원형에 0.8, 각형에 1.6을 적용하였다. 또한 지표에서의 높이는 6.2 m, 지표조도는 개활지를 적용하였다.

또한 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침의 예제에서 적용된 풍하중, 가설공사표준시방서의 존치기간 2년 이하와 5년 이하의 적용 풍하중, 그리고 도로교 설계기준의 영구 구조물 적용 풍하중도 함께 적용하여 공사기간에 따른 풍하중 응답과 비교하였다. 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침의 예제의 경우, 도로교 설계기준의 활하중 재하시 각형과 원형의 값을 적용하여 거푸집은 1.5 kN/m^2, 원형 동바리부재는 0.75 kN/m^{2}의 풍하중을 적용하였다. 가설공사표준시방서에 따른 풍하중은 항력계수와 지형계수, 거스트 응답계수 등은 시공 중 풍하중 산정과 동일하게 하고, 중요도계수를 2년 이하에서는 0.63, 5년 이하에서는 0.81을 적용하여 산정하였다.

공사기간에 따른 기본풍속의 변화는 Fig. 3과 같으며, 해석에 적용된 공사기간에 따른 풍하중, 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침의 예제, 가설공사표준시방서, 영구 구조물 설계기준을 따라 계산된 풍하중 크기는 Table 2와 같다(기본풍속 35 m/s).

3.3. 안전성 검토 방법

시스템 동바리의 안전성 검토는 현재 가설 구조물의 설계법인 허용응력설계법을 적용하였으며, Table 3과 같은 풍하중이 고려되지 않은 경우(LC1)와 고려된 경우(LC2)의 2 가지 하중조합을 고려하였다[4].

LC2는 주하중과 풍하중이 적용된 경우로 허용응력 설계법에서는 활하중과 동시에 작용하는 풍하중의 영

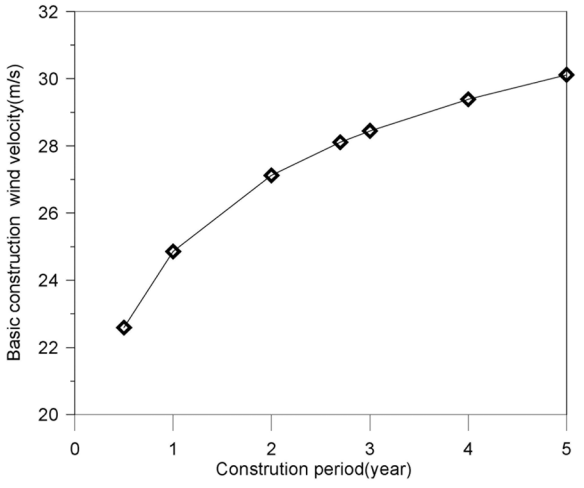

Fig. 3. Basic construction wind velocity over construction period

Table 2. Wind load case and wind pressure(V_{10} = 35 m/s)

Wind load case	Description	Wind load(kN/m^2)	
		Foam (rectangular section)	Support member (round section)
C-0.5Y	Construction - 0.5 year	0.969	0.485
C-1.0Y	Construction - 1.0 year	1.174	0.587
C-2.0Y	Construction - 2.0 year	1.398	0.699
C-3.0Y	Construction - 3.0 year	1.538	0.769
C-4.0Y	Construction - 4.0 year	1.641	0.821
C-5.0Y	Construction - 5.0 year	1.724	0.862
CB-SUP	Support installing guide for concrete bridge construction	1.500	0.750
T-2.0Y	Standard specification for temporary work-Construction period ≦ 2 year	0.924	0.462
T-5.0Y	Standard specification for temporary work-Construction period ≦ 5 year	1.527	0.764
D-P	Design standard for permanent structure	2.327	1.163

향을 감소시키기 위해 1.25의 허용응력증가계수를 적용하고 있다. 시스템 동바리와 같은 가설 구조물에서는 일반적으로 현장 풍속 10 m/s ~ 14 m/s인 경우 작업을 중지하므로 타설 관련 활하중과 풍하중 조합 시의 풍하중 수준은 허용응력할증계수의 근거가 된 풍하중의 수준보다는 감소한다. 따라서 현실에 적합한 하중조합은 풍하중 조합시 활하중 영향을 배제하여야 하나, 허용응력증가계수가 명확하게 정의되어 있지 않아 1.25의 증가계수를 적용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 보다 보수적으로 안전율을 산정한 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침[4]을 따라 풍하중 조합시 활하중의 영향을 포함하였다.

풍하중과 같은 수평하중이 작용할 경우, 시스템 동바리는 압축력과 휨 모멘트에 저항하므로 부재의 좌굴 등에 의한 압축응력과 휨응력의 조합에 의한 응력 비인 조합 응력비를 산출하여 구조 안전성을 검토하여야

Table 3. Load combinations

Load combination	Coefficient for increment of allowable stress
LC1 = Dead load+Live load+Horizontal load	1.00
LC2 = Dead load+Live load+Horizontal load+Wind load	1.25

한다. 본 연구에서는 도로교설계기준에 규정된 다음 식(7)에 의해 조합 응력비를 이용하여 안전성을 검토하였다.

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}\left(1-\frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}\left(1-\frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1 \qquad (7)$$

여기서, f_c는 축방향력에 의한 압축 응력(MPa)이고 f_{bcy}, f_{bcz}는 강축(y축) 및 약축(z축) 둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨 압축응력(MPa)이며 f_{baz}는 국부좌굴 등을 반영한 강재의 허용축방향 압축응력(MPa)이다. 또한 f_{bagy}는 국부좌굴을 고려하지 않은 강축(y축) 둘레의 허용 휨 압축응력(MPa)이고 f_{bao}는 국부좌굴을 고려하지 않은 허용 휨 압축응력의 상한값(MPa)이다. f_{Ey}, f_{Ez}는 강축(y축) 및 약축(z축) 둘레의 허용 오일러 좌굴응력(MPa)이다.

4. 결과분석

4.1. 풍하중 응답 분석

콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침의 예제에서 적용된 풍하중과 가설공사표준시방서의 적용 풍하중, 그리고 공사기간별 재현기간을 반영하여 산정된 풍하중에 대해 변위와 최대 휨모멘트를 비교・분석하였다. 적용된 기본풍속은 35 m/s이다.

모든 풍하중 case에 대해 최대 변위를 분석하여 Table 4에 나타내었다. 공사기간 0.5년(최대 변위 1.28 mm)을 기준으로 1년부터 5년까지 1년 증가할 때마다 변위는 각각 1.21, 1.45, 1.59, 1.70, 1.78배 증가되었음을 알 수 있다. 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침에 의한 경우 최대 변위는 1.99 mm로 공사기간 2년과 3년 사이의 변위가 발생하는 것으로 나타났으며, 공사기간 2년 이하의 가설공사표준시방서의 풍하중에 의해서는 공사기간 0.5년보다도 작은 1.22 mm의 최대 변위가 발생하였다. 공사기간 5년 이하의 가설공사표준시방서에 의해서는 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침에 의한 최대 변위와 공사기간 3년의 최대 변위 사이의 값이 발생하였다. 영구 구조물 설계기준은 풍하중 수준이 크므로 3.08 mm의 가장 큰 값이 발생하였다.

풍하중에 의해 발생하는 수직재의 휨모멘트 중 최대 휨모멘트를 Fig. 4에 나타내었다. 공사기간의 증가에 따라 최대 휨모멘트는 곡선의 형태로 증가되며, 공사기간이 감소할수록 영구 구조물의 풍하중 응답(그림의 D-P)과 차이가 커짐을 알 수 있다. 콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침(그림의 CB-SUP)의 경우는 공사기간 3년에 약간 못 미치는 수준의 최대 휨모멘트가 발생하였다. 또한, 가설공사표준시방서의 5년 이하의 경우(그림의 T-5.0Y)는 공사기간 3년과 유사하며, 2년 이하의 경우(그림의 T-2.0Y)는 공사기간 0.5년 이하 보다 작은 최대 휨모멘트가 나타났으므로 가설공사표준시방서를 적용할 경우 공사기간에 따른 풍하중 영향을 잘못 반영하는 것으로 판단된다.

Table 4. Comparison of maximum displacement for various wind load cases(V_{10}=35 m/s)

Wind load case	Description	Maximum displacement (mm)
C-0.5Y	Construction - 0.5 year	1.28
C-1.0Y	Construction - 1.0 year	1.55
C-2.0Y	Construction - 2.0 year	1.85
C-3.0Y	Construction - 3.0 year	2.04
C-4.0Y	Construction - 4.0 year	2.17
C-5.0Y	Construction - 5.0 year	2.28
CB-SUP	Support installing guide for concrete bridge construction	1.99
T-2.0Y	Standard specification for temporary work - Construction period ≦ 2 year	1.22
T-5.0Y	Standard specification for temporary work - Construction period ≦ 5 year	2.02
D-P	Design standard for permanent structure	3.08

4.2. 구조 안전성 분석

기본풍속 35 m/s를 대상으로 하중 조합에 따른 모든 수직재에 대한 조합 응력비를 분석하였다. 최대 조합 응력비가 발생하는 부재의 축력과 휨모멘트, 조합 응

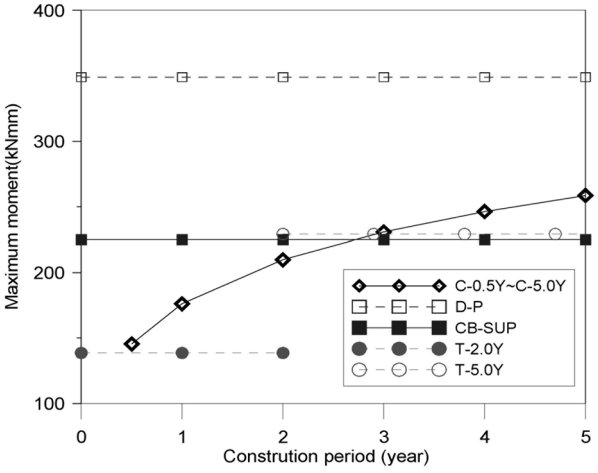

Fig. 4. Comparison of maximum moment for various wind load cases

Table 5. Maximum combined stress ratios (V_{10}=35 m/s)

Load combination	Wind load case	Element No.	Axial force (kN)	Moment (kN-mm)	Maximum Combined stress ratio
LC1	-	45	29.46	190.08	0.883
LC2	C-0.5Y	67	24.24	254.16	0.833
	C-1.0Y	67	24.39	278.29	0.867
	C-2.0Y	55	24.54	304.87	0.904
	C-3.0Y	55	24.65	321.48	0.928
	C-4.0Y	55	24.72	333.81	0.946
	C-5.0Y	55	24.78	343.57	0.960
	CB-SUP	55	24.62	316.98	0.922
	T-2.0Y	67	24.21	248.75	0.825
	T-5.0Y	55	24.64	320.27	0.927
	D-P	55	25.22	415.08	1.064

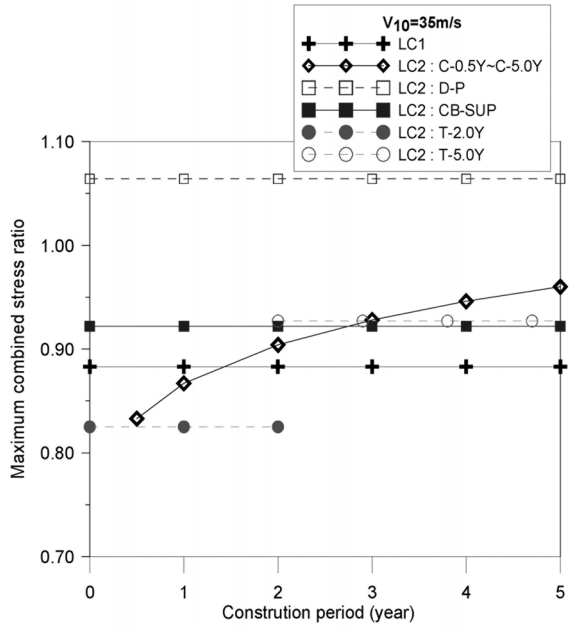

Fig. 5. Comparison of maximum combined stress ratio for various wind load combination cases(V_{10}=35 m/s)

력비를 Table 5에 나타내었으며, 최대 조합 응력비를 Fig. 5에 비교하였다. 최대 조합 응력비가 발생하는 위치는 풍하중이 고려되지 않는 경우(LC1) 좌측에서 5번째 3단 수직재(element No. 45)인 것으로 나타났다. 반면, 풍하중이 고려된 경우(LC2)는 풍하중 수준이 작은 공사기간 0.5년(C-0.5Y), 공사기간 1년(C-1.0Y), 가설공사표준시방서 2년 이하(T-2.0Y)에서는 가운데 수직재의 1단 위치(element No. 67)에서 최대 조합 응력비가 나타났다. 풍하중 수준이 큰 나머지 LC2 하중조합에서는 가운데 수직재의 좌측에 인접한 수직재의 1단(element No. 55)에서 최대 조합 응력비가 산출되었다.

LC1의 경우는 최대 조합 응력비 0.883으로 공사기간을 고려한 LC2(그림의 LC 2:C-0.5Y~C-5.0Y)의 약 1.5년과 유사하다. 따라서 기본풍속 35 m/s인 지역에서는 공사기간 1.5년 이하의 경우는 풍하중을 고려하지 않은 하중조합이 구조 안전성을 지배한다고 볼 수 있다. 영구 구조물 설계에 의한 조합 응력비(그림의 LC2:D-P)는 1.0을 넘어 구조 안전성이 확보되지 않는 것으로 나타났으며, 그 값도 공사기간을 고려한 조합 응력비보다 많이 크므로 영구 구조물 설계기준의 풍하중 수준을 적용하는 것은 합리적이지 않다.

콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침의 풍하중을 반영한 LC2의 경우는(그림의 LC2:CB-SUP) 공사기간 3년보다 약간 작은 조합 응력비가 발생하였다. 또한, LC2의 가설공사표준시방서의 5년 이하의 경우(그림의 LC2:T-5.0Y)는 공사기간 3년과 거의 유사한 조합 응력비가 나타나며, 2년 이하의 경우(그림의 LC2:T-2.0Y)는 공사기간 0.5년 이하보다 작은 조합 응력비가 발생한다. 따라서, 가설공사표준시방서의 공사기간에 따른 풍하중을 적용할 경우 조합 응력비를 과소평가하여 구조 안전성을 정확하게 평가할 수 없다. 공사기간에 따른 풍압과 공사기간 관계식을 이용하면 가설공사표준시방서의 2년 이하의 풍하중은 공사기간 0.43년으로, 5년 이하의 풍하중은 공사기간 2.91년으로 평가된다.

지역에 따라 변화되는 기본풍속을 30 m/s, 40 m/s, 45 m/s로 변경하여 기본풍속 변화에 따른 시스템 동바리의 안전성과 설계 기준의 타당성을 분석하였다(Fig. 6~Fig. 8). 공사기간을 고려한 경우(LC2:C-0.5Y~C-5.0Y), 기본풍속 30 m/s에서는 풍하중을 반영하지 않은 LC1이 공사기간을 반영한 풍하중 하중조합보다 큰 조합 응력비를 보이므로 LC1이 구조 안전성을 지배하며, 기본풍속 40 m/s이상에서는 반대로 풍하중을 반영한 LC2가 구조 안전성을 지배하는 것으로 나타났다. 가설공사표준시방서의 5년 이하와 2년 이하의 풍하준 수준에 의한 결과는 기본풍속 35 m/s 결과와 동일하였다.

40 m/s 기본풍속 지역에 콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침 풍하중을 적용한 LC2(Fig. 7의 LC2:CB-SUP)의 조합 응력비는 공사기간 1년과 유사한 수준으로 나타났으며, 기본풍속 45 m/s이며 콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침의 풍하중을 적용한 경우(Fig. 8의 LC2:CB-SUP)는 공사기간 0.5년 보다 약간 작은 수준의 조합 응력비를 나타냈다. 또한 기본풍속 40 m/s이며 공사기간 3년 이상인 경우와 기본풍속 45 m/s이며 공사기간 1년 이상인 경우는 최대 조합 응력비가 1.0을 넘는 것으로 나타났으므로 대상 시스템 동바리의 구조 안전성은 확보되지 않는 것으로 분석되었다.

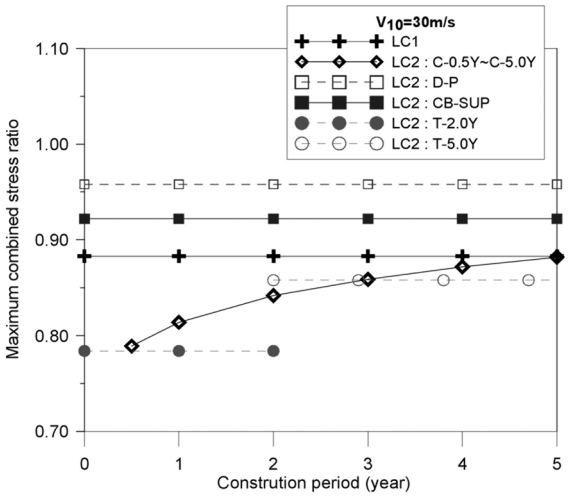

Fig. 6. Comparison of maximum combined stress ratio for various wind load combination cases(V_{10}=30 m/s)

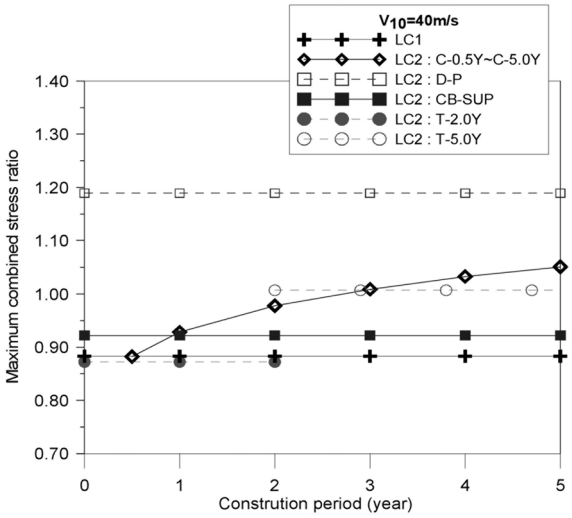

Fig. 7. Comparison of maximum combined stress ratio for various wind load combination cases(V_{10}=40 m/s)

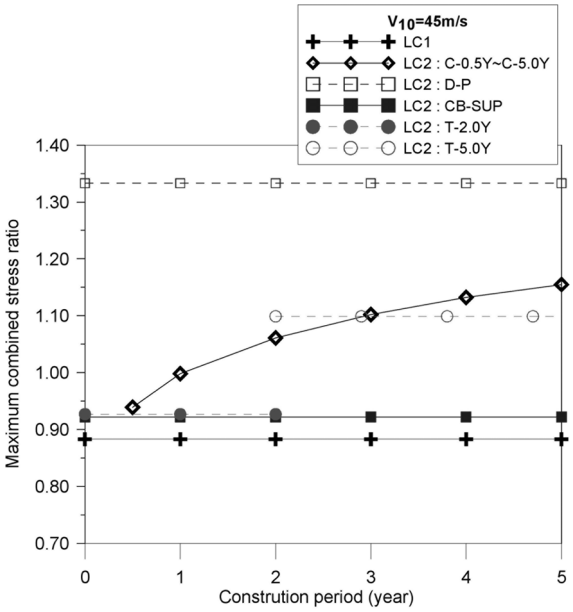

Fig. 8. Comparison of maximum combined stress ratio for various wind load combination cases(V10=45 m/s)

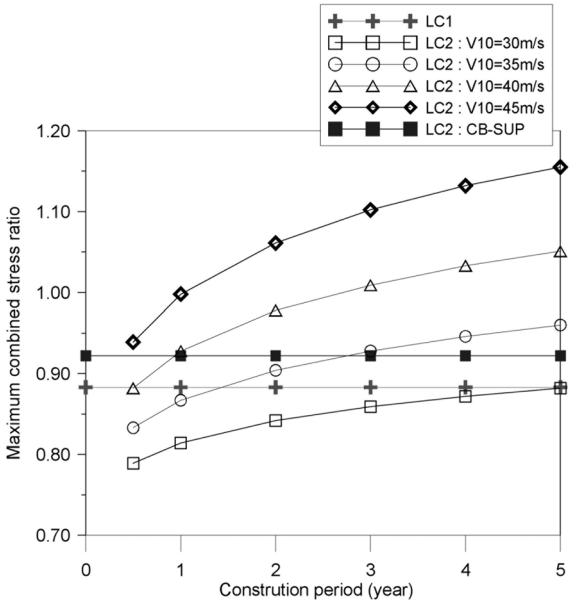

Fig. 9. Comparison of maximum combined stress ratio according to basic wind velocity

기본풍속 변화에 따른 최대 조합 응력비를 공사기간별로 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 풍하중을 고려하지 않은 하중조합인 LC1의 조합 응력비는 기본풍속 30 m/s를 고려한 하중조합(LC2)에서는 공사기간 5년과, 기본풍속 35 m/s에서는 공사기간 1.5년과, 기본풍속 40 m/s에서는 공사기간 0.5년과 비슷한 수준인 것으로 분석되었으며, 기본풍속 45 m/s의 경우는 공사기간 0.5년부터 LC2의 조합 응력비가 LC1의 조합 응력비를 넘어서는 것으로 분석되었다. 따라서, 기본풍속 30 m/s의 경우는 풍하중을 고려하지 않은 하중조합이 안전성을 지배하므로 풍하중을 고려하지 않아도 되며, 기본풍속 40 m/s 이상인 경우는 LC2가 LC1보다 큰 조합 응력비를 나타내므로 풍하중을 고려해야 한다. 또한, 기본풍속 35 m/s에서는 공사기간 1.5년부터 대상 시스템 동바리에 풍하중을 고려하여야 한다.

콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침 예제의 풍하중 수준을 분석하면, 기본풍속 35 m/s인 지역에서는 공사기간 3년에 해당하는 풍하중 수준임을 그림으로부터 확인할 수 있다. 또한, 기본풍속 40 m/s의 경우 공사기간 1년에 해당하는 풍하중 수준이며, 기본풍속 45 m/s

를 적용하면 공사기간 0.5년 미만의 수준인 것으로 나타났다. 대상 시스템 동바리는 기본풍속 45 m/s의 지역에서 공사기간 1년 이상인 경우와 기본풍속 40 m/s의 지역에서 공사기간 3년 이상인 경우 최대 조합 응력비가 1을 초과하여 안전성에 문제가 생기는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 일반적인 설계 수준으로 시공되는 시스템 동바리를 대상으로 지역별 기본풍속과 공사기간을 반영한 풍하중에 대한 시스템 동바리의 구조 안전성을 분석하고 적용 가능한 풍하중 수준을 제시하였다. 풍하중 고려 여부에 따른 최대 조합 응력비를 평가한 후 다양한 기준과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기본풍속 35 m/s를 적용하여 공사기간에 따른 풍하중의 영향을 분석한 결과 공사기간이 증가함에 따라 최대 조합 응력비는 0.833(0.5년)에서 0.960(5.0년)으로 증가하는 것으로 나타났다. 대상 시스템 동바리에서는 공사기간 1.5년 이하의 경우는 풍하중을 고려하지 않은 하중조합이 구조 안전성을 지배하며, 1.5년을 넘는 경우 풍하중을 고려한 경우가 구조 안정성을 지배한다. 따라서 시스템 동바리의 안전성 검토하기 위해서는 공사기간에 따른 풍하중 수준을 적용하여야 한다고 판단된다.

2) 지역별 기본풍속에 따른 풍하중 영향을 분석한 결과, 기본풍속 30 m/s의 경우는 풍하중을 고려하지 않아도 되나, 기본풍속 40 m/s 이상인 경우는 풍하중을 고려한 하중조합에서 최대 조합 응력비가 나타나므로 풍하중을 고려해야 한다.

3) 가설공사표준시방서의 제시된 풍하중은 공사기간에 따른 시스템 동바리의 응답을 과소하게 평가하여 구조 안전성을 정확하게 평가하지 못하는 기준으로 분석되었다. 기본풍속 35 m/s인 지역의 경우, 가설공사표준시방서의 5년 이하는 공사기간 3년과 거의 유사한 조합 응력비가 발생하였으며, 가설공사표준시방서의 2년 이하는 공사기간 0.5년 이하보다 작은 조합 응력비가 발생하였다.

4) 콘크리트 교량 가설용 동바리설치지침의 풍하중의 수준은 기본풍속 35 m/s인 지역에서는 공사기간 3년에, 기본풍속 40 m/s의 지역에서는 공사기간 1년에, 기본풍속 45 m/s인 지역에서는 공사기간 0.5년 미만의 수준인 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지형을 대상으로 지형계수를 1.0으로 가정하여 풍하중에 의한 대상 시스템 동바리의 안전성을 검토하였다. 그러나 산, 언덕 및 경사지의 영향을 반영하여 설계기준풍속을 할증할 필요가 있는 경우 건축구조기준에서 정의한 것과 같은 지형계수를 적용할 필요가 있다.

감사의 글: 이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, “Korean Building Code”, 2009.
2) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, “Korean Design Code for Highway Bridge”, 2010.
3) Korea Temporary Equipment Association, “Standard Specification for Temporary Work”, 2010.
4) Ministry of Construction and Transportation, “Support Installing Guide for Concrete Bridge Construction”, 2007.
5) S. K. Cho, Y. C. Ha, J. R. Kim, and K. S. Kim, “Evaluation the wind-induced Response of Tall Building Changed by Arrangements of the Buildings”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 16, No. 3, pp. 305~ 314, 2004.
6) D. H. Kim, J. K. Lim and J. P. Koh, “Reliability Analysis of LNG Unloading Arm considering Variability of Wind Load”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 19, No. 2, pp. 223~ 231, 2007.
7) S. W. Choi and H. K. Kim, “Aerodynamic Design Procedure of a Cable-stayed Bridge in Construction Based on a Buffeting Analysis”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 27, No. 4A, pp. 493~ 503, 2007.
8) J. H. Park, Y. B. Chung and Y. C. Ha, “A Proposal of the Wind Pressure Coefficient and Simplified Wind Load Estimation Formula for the Design of Structural Frames of the Low-rise Buildings”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 21, No. 3, pp. 289~ 299, 2009.
9) D. H. Kim, I. K. Lee and B. Y. Jo, “Wind Induced Risk Analysis of Highway Facilities”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 21, No. 6, pp. 553~ 561, 2009.
10) S. S. Lee, H. S. Kim, Y. K. Lee and K. C. Shim, “Risk Assesment of Strong Wind over Industrial Facilities in Shipyards”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 9, No. 4, pp. 21~ 28, 2009.

11) S. H. Choi, K. S. Seo, I. H. Sung and S. H. Lee, “Estimation of Basic Wind Speeds Reflecting Recent Wind Speed Data”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 10, No. 1, pp. 9~ 14, 2010.
12) S. Y. Jeong, K. S. Lee and S. E. Han, “A Numerical Study on Wind Pressure Characteristics of Super-tall Protype Model considering the Effect of Turbulence Intensity”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 23, No. 6, pp. 659~ 667, 2011.
13) Korean Society of Civil Engineers, “Design Guide for Steel cable-supported Bridge”, 2006.
14) Japan Road Association, “Manual for Wind Resistant Design of Highway Bridges”, 2007.