

풍동실험을 통한 교통신호 구조물의 내풍 안전성 검토

Wind-Resistant Safety Reviews of Traffic Signal Structures by Wind Tunnel Tests

허택녕*

Taik-Nyung Huh*

〈Abstract〉

According to recent data from the Korea Meteorological Administration(KMA), the frequency of typhoons around the Korea Peninsula is almost unchanged, but the intensity is on the rise due to climate change. A typhoon that has become so powerful can cause partial or complete damage to the traffic signal structures, limiting the operation of the vehicle and causing traffic congestion. If the traffic signal structure fails to function properly due to the influence of the typhoon, not only the vehicle operation will be disrupted, but also direct damage to the traffic signal structure will occur. In addition, if the social overhead cost of traffic congestion is included, the recovery cost caused by the typhoon will increase to an extent that it is difficult to estimate. Therefore, in this study, a wind tunnel experiment was performed by producing a wind tunnel model of an existing fixed traffic signal structure and a traffic signal structure in which signs and traffic lights are hinged. Also, The fixed and hinge structures were modeled as 3D finite elements, and wind-resistant analysis was performed by wind speed, and, wind-resistant safety of traffic signal structures were analyzed and examined through wind-resistant analyses. From the comparative analysis of the results of experiment and FE analysis, it was known that the stress reduction rate of the hinge connection structure was at least 30% compared to that of the fixed connection structure from the results of the wind tunnel experiment and FE analysis. And As a result of finite element analysis for the maximum design wind speed of 50m/s, it was found that the maximum stress generated in the existing structure exceeded

1* 정회원, 교신저자, 창원대학교 스마트그린공학부,
건설 시스템공학전공, 정교수
E-mail: tnhuh@changwon.ac.kr

1* Regular member, Corresponding author, School of Smart &
Green Engineering, Dept. of Civil Engineering, Changwon
National University

all the yield stress, but the maximum stress of the hinge connection structure was within the yield stress. Finally The hinge connection structure showed a relatively large stress reduction rate as the wind speed increased and the length of the lateral beam was shorter at the same wind speed.

Keywords : Traffic Signal Structures, Wind Tunnel Tests, 3D Wind-Resistant Analysis, Wind-Resistant Safety Review

1. 서론

기상청 기상자료에 의하면 1950년부터 최근까지 태풍의 발생빈도에는 변화가 거의 없으나 강도는 점점 커져가는 추세에 있고, 이와 같이 과거보다 강력해진 태풍은 한반도를 휩쓸고 지나가면서 전국에 산재해 있는 각종 구조물에 큰 영향을 미치고 있다[1]. 특히, 한반도는 지정학적으로 태풍의 이동경로 위에 있으며 기후변화의 영향으로 그 규모가 과거에 비하여 상대적으로 크게 증가할 것으로 예상되고 있으므로 이와 같은 태풍에 대하여 완벽한 대응태세를 갖추는 것은 시급한 일이다. 이와 같이 강력해진 태풍은 교통신호 구조물에 직접적인 손상을 발생시킬 뿐만 아니라 고유의 기능을 상실하여 차량운행에도 많은 지장을 준다. 여기에 교통체증에 따른 사회적 간접비용까지 포함하면 태풍으로 유발되는 사회적 비용은 추정하기 어려울 정도로 증가 할 것이다.

교통정보 시설물은 평소에는 길잡이 역할을 하지만, 강력한 태풍에 의해 전도, 파손, 박리와 비산하게 되면 보행하는 인간에게 무서운 흉기가 되고, 주행 중인 차량에게는 대형 교통사고의 원인이 되기도 한다.

구조물의 내풍설계에 적용되는 기본풍속은 지상 10m높이에서 내용년수 50년, 비초과확률 0.6으로 10분간 평균풍속으로 정의된다. 이와 같은 기본풍속은 산, 바다, 평야, 도심지 등과 같은 구조물 주

변지역의 지형조건에 따라 풍속이 감소 혹은 증가하게 된다[2][3]. 그러나 현재 신호 구조물과 표지판에 대한 관리감독을 하는 경찰청의 교통안전시설 실무편람에는 전술한 풍하중의 특성을 고려하지 않고 있다[4]. 또한 교통신호 구조물에 고정되어 있는 표지판과 신호등은 구조물에 가해지는 풍하중의 크기를 증가시키는 가장 주된 원인이 되므로 일정 풍속이상에서 한지로 연결하여 회전이 가능하도록 설계하면 교통신호 구조물의 내풍 안전성을 증가시킬 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 교통신호 구조물의 실험모형을 제작하고 수행한 풍동실험 결과와, 실험모형을 3차원 유한요소로 모형화하고 내풍해석한 결과로부터 교통신호 구조물의 내풍 안전성을 향상시킬 수 있는 개선된 교통신호 구조물을 제안할 것이다.

2. 교통신호 구조물의 풍동실험

본 장에서는 교통표지판이 고정 연결된 기존의 교통신호 구조물과 한지 연결된 교통신호 구조물의 풍속별 실험적 거동을 분석하기 위하여 풍동실험을 수행하였다.

2.1 교통신호 구조물의 실험모형

Fig. 1에는 한지 연결된 교통표지판에 대하여

도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 교통표지판에 힌지를 도입하여 교통신호 구조물과 연결하기 위해서는 적절한 힌지 상수값을 결정하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 힌지 상수값이 과도하게 설정되면 응력감소라는 소기의 목적을 달성할 수 없고, 반대로 과소하면 비교적 작은 바람에도 표지판이 흔들림으로써 사용성의 저하와 운전자들의 심리적 불안감을 유발하게 되기 때문이다. 따라서 힌지 상수값은 응력감소와 표지판의 기능성 확보라는 목표를 모두 만족할 수 있도록 설계기준 풍속 30m/s에서 실험적으로 결정하였다. 또한, 힌지 연결에 적용된 힌지 상수는 다양한 표지판에 적용하여 얻은 실험결과로부터 풍속 30m/s에서 0.1kgf/cm로 일정하게 적용하였다[6].



Fig. 1 Hinged traffic signs

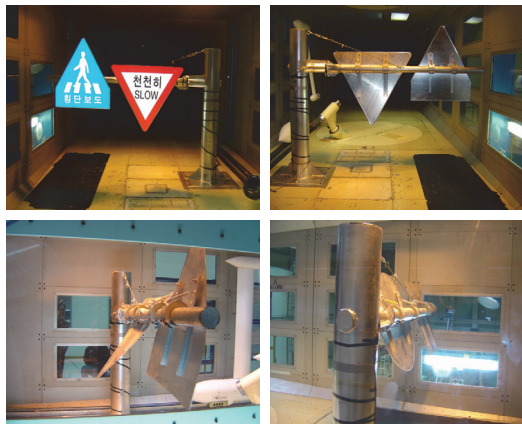


Fig. 2 Experimental model for wind tunnel tests

2.2 풍동실험방법

Fig. 2에는 풍동실험에 사용한 실험모형을 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 교통신호 구조물은 한국항공우주 연구원의 실내 실험조건을 맞추기 위해 실제 구조물보다 축소하여 제작하였고, 특정한 위치에서 발생하는 응력을 측정하여 내풍 해석결과와 비교 검토하였다.

2.3 풍동실험모형의 응력측정

본 절에서는 힌지 연결된 교통신호 구조물에 발생하는 응력변화를 확인하기 위해 기존의 고정된 교통신호 구조물의 응력을 먼저 측정하였다.

Fig. 3에는 풍속별 사각형 교통표지판이 고정 연결된 교통신호 구조물에서 측정된 최대응력을,

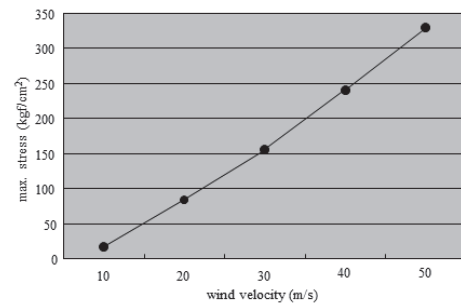


Fig. 3 Max. stresses of fixed structure

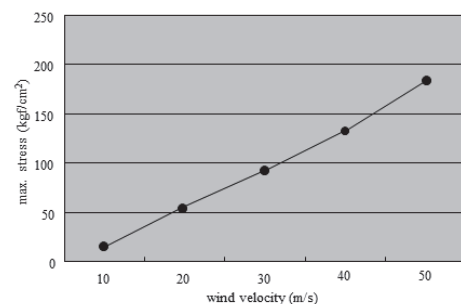


Fig. 4 Max. stresses of hinged structure

Fig. 4에는 힌지 연결된 교통신호 구조물에서 측정된 최대응력을 각각 도시하였다.

3. 교통신호 구조물의 내풍해석

본 장에서는 풍동실험 결과를 검증하기 위하여 교통신호 구조물의 3차원 유한요소 해석결과와 실험결과를 서로 비교하여 힌지 연결된 교통신호 구조물의 응력감소효과를 도출하였다.

3.1 내풍실험모형의 유한요소 해석

Fig. 5에서는 실험모형의 3차원 유한요소 모형을 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 지주와 가로보는 곡면판 요소로, 케이블은 인장력에만 저항하는 트러스 요소로, 표지판은 판요소로 각각

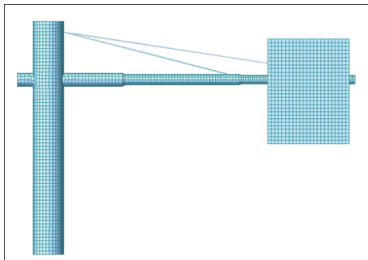


Fig. 5 FE model of experiment model

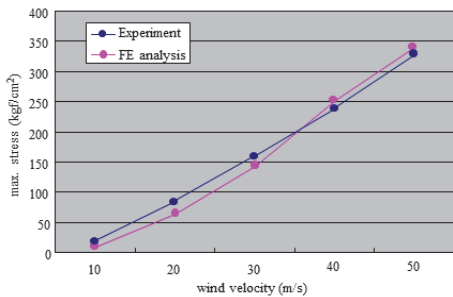


Fig. 6 Stress comparison in fixed structure

모형화 하였다. 또한 지주와 가로보가 결합되는 단면은 실제 신호 구조물과 동일하게 관통하도록 모형화하였다.

풍속별 풍동실험에서 측정된 응력값과 유한요소 해석으로 부터 구한 응력값을 고정 연결의 경우는 Fig. 6에, 힌지 연결인 경우는 Fig. 7에 각각 비교하여 도시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 고정인 경우에 오차가 힌지경우에 비하여 전반적으로 크게 나타났다. 정역학 해석을 수행하여 얻은 유한요소의 해석결과는 공기역학적 특성을 해석에 고려하지 않기 때문에 발생하는 오차로 판단된다.

또한, 풍속이 35m/s이하에서는 실험결과가, 35m/s이상에서는 해석결과가 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있다. 높은 풍속에서는 구조물 후면에 발생하는 와류와 같은 공기역학적 특성으로 인하여 실험값이 감소하는 것으로 사료된다.

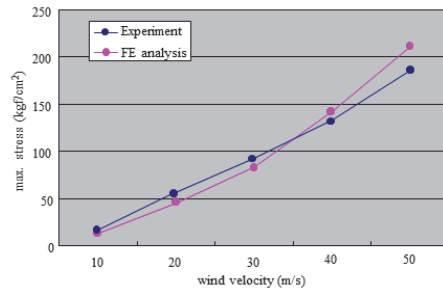


Fig. 7 Stress comparison in hinged structure

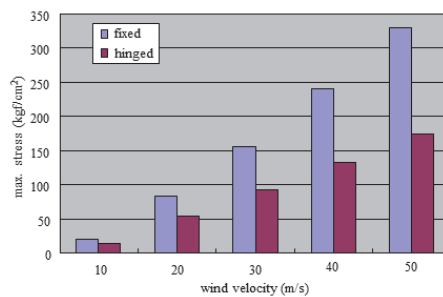


Fig. 8 Max. stress in wind tunnel tests

Fig. 8에는 풍속별 풍동실험으로부터, Fig. 9에는 유한요소 해석으로부터 구한 최대응력을 각각 비교하여 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 힌지 연결인 경우 고정 연결에 대하여 상대적으로 교통신호 구조물에 발생하는 최대응력이 감소함을 확인할 수 있다.

Fig. 10에는 풍속별 힌지 연결로 교통신호 구조물에 발생하는 최대응력의 감소율을 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 풍속이 증가함에 따라 전반적으로 응력감소율이 증가하고 있고, 풍동실험에서는 평균응력 감소율이 40%, 유한요소 해석에서는 35%로 증가하고 있으며, 풍동실험에 의한 응력감소율이 유한요소 해석에 의한 응력감소율보다 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 힌지 연결된 교통신호 구조물이 고정된 기존 구조물에 비하여 내풍 안전성을 확보하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

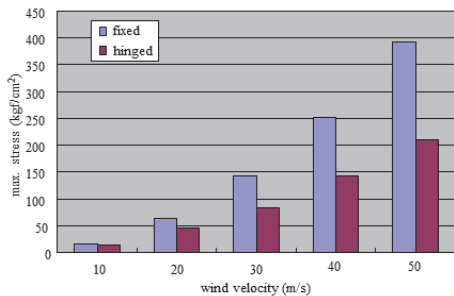


Fig. 9 Max. stress in FE analysis

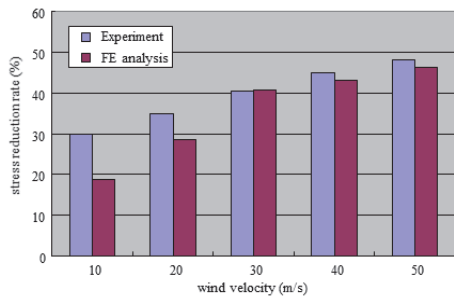


Fig. 10 Stress reduction rate

3.2 교통신호 구조물의 유한요소모형

내민식 교통신호 구조물은 지주와 가로보가 강결되어 구성되어 있으며, 유한요소해석에 적용된 내민식 교통신호 구조물은 200A 8m×7m, 200A 8m×9m, 250A 8m×11m와 같이 가로보 길이가 서로 다른 3종류가 검토되었다. 각각의 내민식 교통신호 구조물의 주요 기하학적 제원은 경찰청에서 제작한 교통신호 설치·운영·관리 지침의 자료를 기준으로 설정하였다.[4]

교통신호 구조물의 유한요소모형은 국내에서 널리 사용되고 있는 유한요소 프로그램인 MIDAS를 사용하여 Fig. 11과 같이 작성하였다. 그림에서 보는 바와 같이 교통신호 구조물은 풍동실험모형을 3차원 유한요소로 모형화하는 방법과 동일한 방법을 적용하여 모형화하였다.

3.3 교통신호 구조물의 유한요소해석

본 절에서는 도로상에 실제로 설치되어 운용되고 있는 내민식 고정 연결과 힌지 연결된 교통신호 구조물의 내풍해석을 각각 수행하여 구조물의 안전성 뿐만 아니라 힌지 연결로 인한 응력감소율을 도출하였다.

교통신호 구조물에 적용된 일반구조용 탄소강관의 극한강도는 5000kgf/cm², 항복강도는 3200kgf/cm²

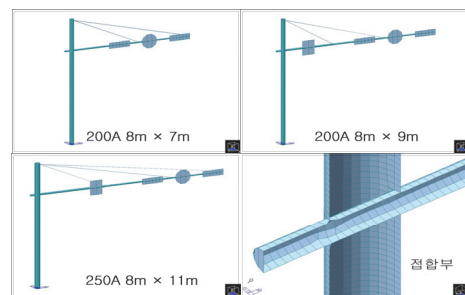


Fig. 11 Finite element model

와 같으며, 안전율로 1.5를 적용하면 허용응력은 2150 kgf/cm²이 된다.

내풍해석에 사용된 기본풍속은 도로교 설계기준 [6]과 기상청 기상자료에 기초하여 35m/s와 50m/s로 가정하였고, 경찰청에서 발간한 교통신호기 설치·운영 업무편람에 따라 산정된 단위면적당 정적 풍하중은 Table 1과 같다.

Fig. 12에는 고정 연결된 교통신호 구조물의 최대응력이 발생하는 영역을 확대하여 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 지주와 가로보가 연결되는 곳은 보강구간이므로 지주로부터 수평으로 50cm 떨어진 곳에서의 응력을 기준으로 안전성과

Table 1. Static wind loads per unit area

wind velocity	35m/s	50m/s
column & lateral beam	54 kg/m ²	109 kg/m ²
traffic sign	92 kg/m ²	188 kg/m ²

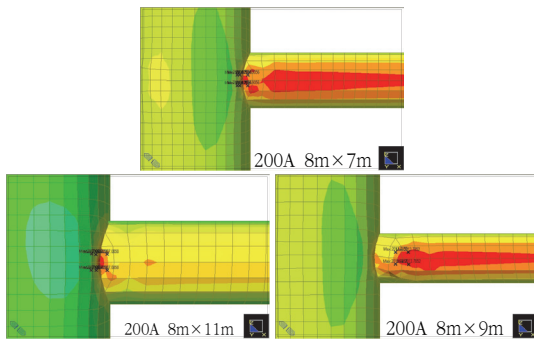


Fig. 12 Max. stress distribution by structural type

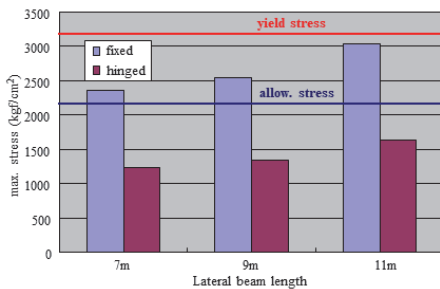


Fig. 13 Max. stress at wind vel. 35m/s

응력감소율을 산정하였다.

Fig. 13에는 풍속이 35m/s일 때, 표지판과 신호등이 고정 연결과 힌지 연결된 3종류의 교통신호 구조물에서 발생하는 최대 응력을 각각 도시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 각각의 교통신호 구조물에 발생하는 최대응력은 모든 조건과 구조물 모두에서 항복응력보다 작은 것으로 나타났지만, 고정 교통신호 구조물에서는 허용응력보다 크게 나타났고 힌지 교통신호 구조물에서는 작은 것으로 나타났다. 따라서 풍속이 35m/s인 경우, 고정 교통신호 구조물에서는 부분적인 파손이 발생할 것으로 예상된다.

Fig. 14에는 풍속이 50m/s일 때, 표지판과 신호등이 고정 연결과 힌지 연결된 3종류의 교통신호 구조물에서 발생하는 최대 응력을 각각 도시하였다.

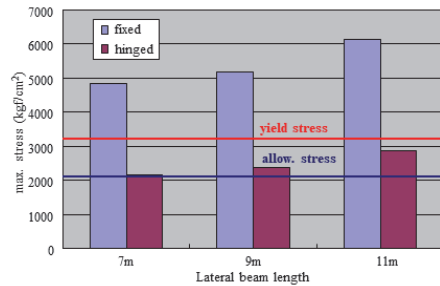


Fig. 14 Max. stress at wind vel. 50m/s

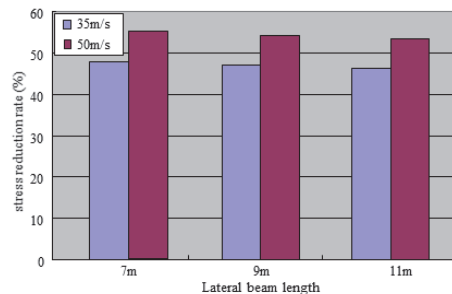


Fig. 15 Stress reduction rate by lateral beam length

그림에서 보는 바와 같이 각각의 교통신호 구조물에 발생하는 최대응력은 모든 조건과 구조물 모두에서 허용응력보다 크게 나타났고, 힌지 교통신호 구조물에서는 항복응력보다는 작게 나타났다. 따라서 풍속이 50m/s인 경우, 고정 교통신호 구조물에서는 전반적인 파손이, 힌지 교통신호 구조물에서는 부분적인 파손이 발생될 것으로 예상된다.

Fig. 15에는 풍속별 3종류 힌지 교통신호 구조물에서 발생하는 응력감소율을 도시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 기존 교통신호 구조물과 비교하여 풍속 35m/s인 경우, 부차대 길이 7m와 9m를 갖는 교통신호 구조물은 약 47%, 11m는 약 46%정도 응력감소율을 확인하였고, 풍속 50m/s인 경우, 7m는 약 55%, 9m는 약 54%, 11m는 약 53%의 응력감소율을 각각 확인하였다. 가로보 길이가 늘어날수록 감소율이 작아지는 이유는 가로보 자중에 의한 효과가 복합적으로 작용하여 구조물에 발생하는 최대응력을 증가시켰기 때문인 것으로 판단된다. 또한 풍속이 35m/s인 경우, 응력감소율이 45%, 풍속이 50m/s인 경우, 응력감소율이 모두 50%이상으로 탁월한 응력감소 효과를 보이고 있어 기존 교통신호 구조물과 비교하여 상대적으로 내풍 안전성이 개선되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 표지판과 신호등이 강결되어 현재 공용중인 기존의 교통신호 구조물과 힌지로 연결된 교통신호 구조물의 내풍 안전성을 증진시키기 위하여 각각의 축소된 풍동실험모형을 제작하고, 한국우주항공연구원에 의뢰하여 풍동실험을 수행하였다. 또한, 풍동 실험모형에 대한 3차원

유한요소해석을 병행하여 비교분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 풍동실험 결과로부터 고정 연결 교통신호 구조물에 비하여 힌지 연결된 구조물의 응력 감소율이 40%, 유한요소 해석결과로부터 응력 감소율이 30%인 것으로 각각 나타났다. 따라서 표지판과 신호등을 힌지로 연결하는 것이 교통신호 구조물의 내풍 안전성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.
2. 최대 설계풍속 50m/s에 대한 유한요소 해석 결과, 기존 구조물에 발생하는 최대응력은 항복응력을 모두 초과하였으나 힌지연결 구조물의 최대응력은 항복응력 이내로 감소함을 알 수 있었다.
3. 힌지연결 구조물은 풍속이 증가할수록, 동일 풍속에서는 가로보 길이가 짧을수록 상대적으로 큰 응력감소율을 보였다.
4. 풍동실험을 통하여 교통신호 구조물의 기능성과 안전성을 확보할 수 있는 교통표지판 힌지 상수값과 표지판의 부착위치를 결정하였다.

감사의 글

이 논문은 2023~2024년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] 기상청 날씨누리, 년도별 태풍발생 및 우리나라에 영향을 준 태풍현황, (2023).
- [2] 허택녕, “풍동실험을 통한 사장교의 내풍 안전성 검토,” 한국산업융합학회 논문집, 제23권, 제4호, pp. 636-638, (2020).

- [3] 허택녕, “사장교의 내풍해석을 통한 인명보호 구조물의 내하능력평가,” 한국산업융합학회 논문집, 제25권, 제4호, p. 588, (2022).
- [4] 경찰청, 교통신호기 설치·운영·관리 지침, pp. 162-179, (2022).
- [5] 허택녕, 신호기 구조물의 내풍안전성을 향상시키는 교통표지판 스프링 밴드의 개발, 중소기업

- 업청 산학연 공동기술개발사업 최종보고서, pp. 4-5, (2006).
- [6] 한국도로교통협회, 도로교 설계기준, pp. 16-22, (2010).

(접수: 2024.06.10. 수정: 2024.07.09. 게재확정: 2024.07.15.)