

유공형 도로표지의 항력계수에 대한 실험적 연구

성흥기, 정규수*
한국건설기술연구원

Experimental Investigation of the Drag Coefficient of Porous Road Signs

Hongki Sung, Kyusoo Chong*

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 최근 도로시설물에 작용되는 하중을 저감시키기 위하여 다양한 기술이 개발되고 있으며, 그 중 풍하중 저감을 위한 유공판을 사용하는 기술이 일부 적용 중에 있다. 현재 국내 도로시설물 설계기준에서는 유공판의 항력계수에 대한 규정은 마련되어 있지 않다. 미국의 구조물 설계기준 'Minimum design loads for buildings and other structures'에서는 Letchford(2001)와 Giannoulis(2012)의 연구 내용을 바탕으로 건축물과 도로시설물의 유공판 항력계수 내용이 개정되었다. 본 연구에서는 유공판 항력계수 규정에 대한 준용 가능성을 분석하고자 관련 풍동실험을 수행하였다. 더불어 풍동실험 결과 값과 미국 설계기준의 항력계수 값을 비교 분석하였으며, 미국 설계기준 항력계수를 적용한 도로표지 지주 및 가로재의 부재 단면적 감소효과를 비교 분석하였다. 본 연구의 풍동 실험 결과 값과 미국 설계기준 값이 매우 유사한 수준으로 도출되었으며, 이에 따라 유공판 항력계수에 대한 준용이 가능할 것으로 판단된다. 항력계수 설계기준의 준용에 따른 유공형 도로표지 구조물의 단면적 감소효과 분석 결과, 지주는 약 9.45%, 가로재는 6.45%의 단면적이 감소하였다. 지주와 가로재를 합친 유공형 도로표지의 전체 구조물은 약 6.45%의 단면적 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

Abstract Recently, various technologies have been developed for road facilities to reduce the load, some of which use technologies employing perforated plates for wind load reduction. Currently, there are no regulations concerning the drag coefficient of perforated plates for domestic road facilities. In the United States, the regulations regarding the drag coefficient of perforated plates in the 'Minimum design loads for buildings and other structures' were revised based on the studies of Letchford (2001) and Giannoulis (2012). In this study, a wind tunnel test was carried out to analyze the feasibility of applying regulations involving the perforated plates' drag coefficient. The results of the wind tunnel test and the drag coefficient used in the regulation were compared and analyzed. In addition, the reduction effect of the cross area of road signs calculated by applying the drag coefficient was analyzed. The results of the wind tunnel test and the value of the drag coefficient used in the regulation in the US were found to be very similar. Therefore, it was found that it is possible to apply the formula involving the drag coefficient of the perforated plate to the regulation and that the cross area of the perforated plate used for the post of the road sign is reduced by about 9.45% and that of the horizontal post by about 6.45%.

Keywords : Drag coefficient, Perforated plate, Porosity, Road sign, Wind tunnel test

1. 서론

기후변화 및 자연재해로 인한 도로에서의 피해 발생

률이 증가하고 있으며, 이로 인한 사회·경제적 손실도 점차 증가하고 있다[1]. 돌풍과 태풍 등의 이상기후로 인하여 풍하중의 영향을 크게 받는 도로표지, 방음벽, 방풍

본 논문은 한국건설기술연구원 정부수탁사업(도로표지센터 운영 업무대행) 연구비지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyusoo Chong(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0685 email: sunghongki@kict.re.kr

Received December 4, 2017

Revised (1st January 22, 2018, 2nd January 31, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

벽, 눈부심 방지시설 등의 도로시설물에 대한 피해가 급증하고 있다[2]. 이에 따라 도로시설물에 작용되는 하중을 저감시키기 위하여 다양한 기술이 개발되고 있으며, 그 중 풍하중 저감을 위한 유공판을 사용하는 기술이 일부 적용 중에 있다. 유공판을 적용한 도로시설물의 안정성 확보와 경제적 설계를 위하여 상세한 설계변수를 포함하는 도로시설물의 설계기준 및 규정이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 도로표지의 유공판에 대한 항력계수 설계기준의 적정성을 분석하기 위하여 풍동실험을 수행하였으며, 항력계수 설계기준 적용에 따른 효과를 분석하였다.

2. 관련 설계기준 및 연구 동향 분석

2.1 국내 도로시설물 설계기준 조사 분석

본 절에서는 도로시설물의 항력계수 설계기준에 대한 적용 여부를 파악하기 위하여 국내 도로시설물의 설계기준을 조사 분석하였다. 조사한 도로시설물의 설계기준은 ‘도로표지규칙’, ‘도로교설계기준’, ‘방음벽 성능 및 설치기준’, ‘건축물하중기준’과 ‘가공송전용 철탑설계기준’이다[3-7]. ‘방음벽 성능 및 설치기준’과 ‘건축물하중기준’에서는 항력계수에 대한 규정이 없는 것으로 조사되었다. ‘도로표지규칙’과 ‘도로교설계기준’에서는 구조물의 형상(원형, 사각형 등)에 따른 항력계수를 규정하고 있으나, 이는 유공판에 대한 항력계수와는 무관하다. ‘가공송전용 철탑설계기준’에서는 철탑구조물의 충실물에 따른 항력계수 산정식을 규정하고 있으나, 유공판과 구조형태가 크게 상이하여 적용이 불가능할 것으로 판단된다. 결과적으로 현재 국내 도로시설물 설계기준에서는 유공판의 항력계수에 대한 규정은 마련되어 있지 않은 것으로 분석되었다. 이와 같은 이유로 방음벽, 방풍벽, 도로표지 등 유공판을 사용하는 구조물 설계 시, 항력계수는 고려하지 않으며, 유효풍하중 면적만을 고려한 구조 설계가 이루어지고 있다. 이에 따라 유공판을 적용한 도로시설물의 안정성 확보와 경제적 설계를 위하여 항력계수에 대한 설계 규정 마련이 필요하다.

2.2 도로시설물의 항력계수에 관한 연구 동향 분석

국내에서는 풍하중을 받는 구조물의 안정성 분석을

위한 실험적 연구가 다수 수행되었다. 김용우(2012)는 집광 렌즈를 이용한 태양광 발전기의 풍하중 응력해석에 대한 풍동실험을 수행하였다[8]. 태양전지판의 경사각도의 변화에 따른 구조물이 받는 풍하중을 계산하기 위하여 유동해석과 구조해석을 수행하였다. 신승훈(2015)은 과수 지주시스템 설계 시 필요한 풍력 산정을 위해 풍동실험을 실시하였으며, 과수의 평균적인 범위 안에서는 공극률의 영향이 크게 고려되지 않음을 도출하였다[9]. 김일출(2003)은 공극률과 높이를 달리한 다공성 방풍벽에 대한 내풍 특성의 변화를 분석하기 위한 풍동실험을 수행하였다[10]. 방풍벽의 항력계수는 높이가 클수록, 공극률이 작을수록 그 증가폭이 커짐을 확인하였다. 정운용(2003)은 전산유동장해석을 통하여 다공성 방풍벽의 방풍성능에 대한 평가를 수행하였다[11]. 해석 결과를 통하여 다공성 방풍벽의 공극률에 따른 풍하중 감소효과를 비교 분석하였으며, 전산해석을 통해 산출된 공기력 계수들을 기존 수치해석 및 풍동실험의 결과 값과 비교하여 방풍벽설계 시 전산해석의 활용성을 검증하였다. 길용식(2008)은 이상기후로 인한 도로표지의 풍해를 방지하고자 도로표지의 안전성 검토에 대한 실험 연구를 수행하였다[12]. 대표적인 3가지 유형의 도로표지 구조물에 대한 풍동실험을 실시하였으며, 도출된 풍하중, 공기력 계수, 각 모멘트 결과 값을 기존 설계방법에 따른 값과 비교하여 관련 규정 및 설계방법을 개선하고자 하였다. 본 절에서 수행한 국내 도로시설물의 항력계수에 관한 연구 동향을 분석한 결과, 국내에서의 도로시설물과 관련된 유공판에 대한 풍동실험 수행은 미미한 것으로 조사되었으며, 이에 따라 유공판을 적용한 도로시설물 설계 시 필요한 설계변수를 산정하기 위한 연구 수행이 반드시 필요하다.

유공판의 항력계수에 대한 연구는 미국에서 Letchford(2001)에 의해 수행되었다[13]. 이 연구는 전체 면적에 대해 공극률이 30% 이하인 유공판의 항력계수에 대한 실험적 연구로써 공극률에 따른 항력계수 변화 및 감소효과를 풍동실험을 통하여 연구하였다. 미국의 연구에 이어 유럽에서는 Giannoulis(2012)에 의해 유공판에 대한 연구가 이루어졌다[14]. 이 연구에서는 전체 면적에 대해 공극률이 30% 이상인 유공판의 항력계수에 대한 풍동 실험 연구가 수행되었다. Letchford(2001)와 Giannoulis(2012)의 연구 내용을 반영하여 미국의 구조물 설계기준 ‘Minimum design loads for buildings and

other structures'에서는 건축물과 도로시설물의 유공판 항력계수 내용이 개정되었다[15]. 이와 관련된 유공판 항력계수 기준 및 산정식은 식 (1), (2), (3)과 <Fig. 1>과 같다. 여기서 K_p 는 감소계수, C_f 는 항력계수, p 는 유공판의 공극률을 나타낸다.

$$C_{f-porous} = K_p C_f \quad (1)$$

$$K_p = 1 - p^{1.5} \quad (2)$$

$$p = \frac{\pi \times d^2}{4 \times x \times y} \quad (3)$$

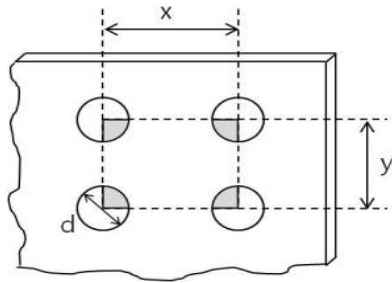


Fig. 1. Porosity of Perforated Plate

본 연구에서는 도로시설물 중 도로표지에 대하여 'Minimum design loads for buildings and other structures'의 유공판 항력계수 규정에 대한 준용 가능성을 분석하고자 관련 풍동실험을 수행하였다. 더불어 풍동실험 결과 값과 'Minimum design loads for buildings and other structures' 항력계수 산정식으로 도출된 값을 비교 분석하였으며, 산정식으로 도출된 항력계수를 적용한 도로표지 지주 및 가로재의 부재 단면적 감소효과를 비교 분석하였다.

3. 유공형 도로표지에 대한 풍동 실험

3.1 풍동실험

본 연구의 풍동실험은 유공형 도로표지의 항력계수 설계기준 준용 가능성을 분석하고자 수행하였다. 풍동 실험에서 사용된 실험 모형은 약 8.7% 공극률을 유공판을 가진 도로표지 모형으로써, 유공판은 판 전체에

18mm 간격으로 6mm의 원형 타공된 형상의 판이다. 이는 한국건설기술연구원의 유공형 도로표지에 대한 연구를 통한 최적의 유공 형식으로 해당 연구에서 시인성과 채귀반사 성능이 검증되었다[16]. 또한 실험 모델은 풍동실험의 기하학적 상사조건으로 실험이 수행된 대형풍동실험장의 규격에 대한 실험조건을 맞춰 제작한 모형으로, 도로표지규격 [별표 2]에서 규정하고 있는 도로표지 (403-1) 규격의 1/10배로 제작되었다[17]. 또한 풍동실험은 10m/s, 15m/s와 20m/s의 3가지 유형의 풍속에 대하여 각 4회씩 수행하여 총 12회의 실험이 수행되었다. 풍동 실험에서 사용된 모형과 풍동실험장의 전경은 <Fig. 2>와 같다.

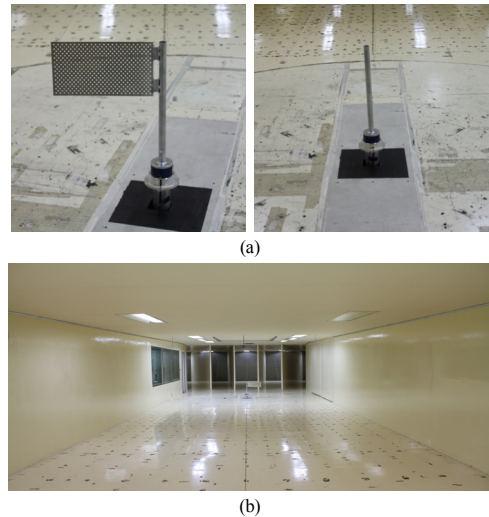


Fig. 2. Wind Tunnel Test of Porous Road Sign
(a) Test model, (b) Wind Tunnel Test

3.2 풍동실험 결과 분석

풍동실험을 통하여 유공형 도로표지의 항력계수를 도출하였으며, 각 실험별 결과 값은 <Table 1>과 같다. 풍동실험 결과, 10m/s 풍속에서의 유공형 도로표지의 평균 항력계수는 1.084이고, 15m/s 풍속에서의 평균 항력계수는 1.088로 나타났다. 그리고 20m/s 풍속에서의 평균 항력계수는 1.086으로 도출되었다. 이를 통해 전체 실험에 대한 유공형 도로표지의 평균 항력계수는 1.086로 나타났다. 각 실험 풍속별 유공형 도로표지의 항력계수 실험 결과를 <Fig. 3~5>에 그래프로 나타내었다. 그래프에 나타난 점선은 도로표지의 기존 항력계수 설계기준 값인

1.20을 나타낸 선이고, 검정 실선은 Letchford(2001)의 항력계수 산정식을 사용한 공극률별 유공판 항력계수를 나타낸 선이다. 또한 그래프에서의 각 점은 본 연구에서 수행한 풍동실험을 통해 도출된 유공형 도로표지의 항력계수 값이다. 풍동실험을 통해 산출한 유공형 도로표지의 항력계수는 Letchford(2001)의 산정식을 사용하여 산출된 항력계수인 1.095에 비하여 약 0.82%의 오차를 나타내며 유사한 수준인 것으로 나타났다. 또한 도로표지의 기존 항력계수 설계기준 값인 1.2에 비하여 약 9.5% 감소한 것으로 분석되었다. 이에 따라 국내 유공형 도로표지의 항력계수 설계기준은 Letchford(2001)의 유공판 항력계수 산정식에 대한 준용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 1. Results of Wind Tunnel Test

no. of Test	Wind Speed	Drag Coefficient of Porous Road Sign
Test 1	10m/s	1.073
Test 2		1.091
Test 3		1.089
Test 4		1.084
Test 5	15m/s	1.087
Test 6		1.088
Test 7		1.088
Test 8		1.091
Test 9	20m/s	1.085
Test 10		1.083
Test 11		1.086
Test 12		1.091

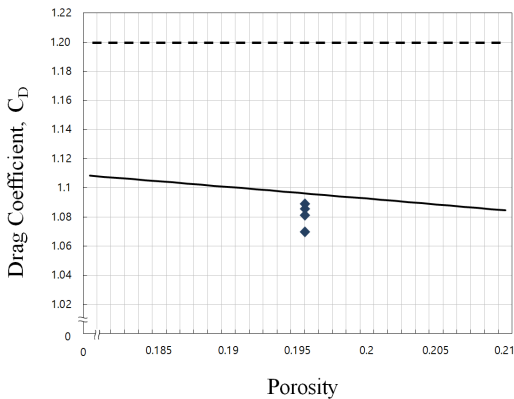


Fig. 3. Drag Coefficient of Porous Road Sign at 10m/s

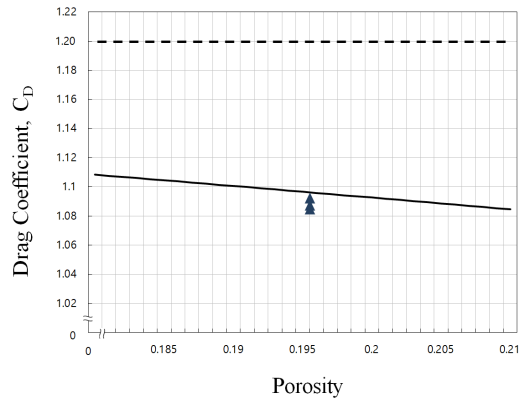


Fig. 4. Drag Coefficient of Porous Road Sign at 15m/s

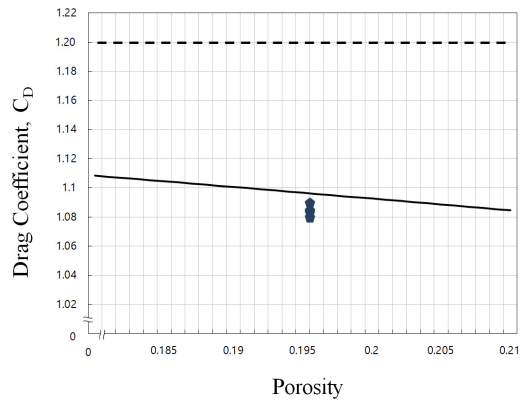


Fig. 5. Drag Coefficient of Porous Road Sign at 20m/s

4. 항력계수를 적용한 도로표지 구조물의 단면적 감소효과

본 절에서는 항력계수 설계기준의 준용에 따른 효과를 분석하고자 대표적인 8가지 형식의 도로표지에 대한 단면적 감소효과를 분석하였다. 본 효과 분석은 기존 도로표지의 항력계수 1.2를 적용하여 설계한 유공형 도로표지 지주 및 가로재의 단면적과 Letchford(2001)의 산정식을 사용하여 산출된 항력계수 1.095를 적용한 유공형 도로표지의 지주 및 가로재 단면적을 비교하였다. 도로표지의 구조검토는 ‘도로표지규칙 [부록 3] 지주의 구조계산’을 참고하였으며, 구조검토에서 사용된 단면적 설계는 한국표준협회의 ‘일반 구조용 탄소 강관(KS D

3566)’ 기준을 참고하였다. 항력계수 설계기준에 따른 유공형 도로표지의 지주 단면적 감소효과는 Table 2에 나타내었으며, 유공형 도로표지의 가로재 단면적 감소효과는 Table 3에 나타났다. 유공형 도로표지의 단면적 감소효과 분석 결과, 기존 항력계수를 적용한 도로표지에 비하여 산정식의 항력계수를 적용한 도로표지의 지주 단면적은 최대 13.4% 감소하는 것으로 나타났으며, 검토한 8가지 형식 중 6가지 형식의 도로표지 지주에 대하여 단면적 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 유공형 도로표지의 지주는 평균적으로 약 9.45%의 단면적 감소효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 기존 항력계수를 적용한 도로표지에 비하여 산정식의 항력계수를 적용한 도로표지의 가로재 단면적은 최대 16.7% 감소하는 것으로 나타났으며, 검토한 8가지 형식 중 4가지 형식의 도로표지 가로재에 대하여 단면적 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 유공형 도로표지의 가로재는 평균적으로 약 6.45%의 단면적 감소효과가 있는 것으로 분석되었다. 가로재와 지주를 합친 전체 도로표지 구조물의 단면적 감소효과는 최대 14.3%로 나타났으며, 검토한 8가지 형식 중 6가지 형식의 도로표지 구조물에 대하여 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 유공형 도로표지는 평균적으로 약 6.45%의 단면적 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

Table 2. Reduction Effect of Post Cross Area of Road Sign with Drag Coefficient

Type of Road Sign	Post Diameter With Existing Drag Coefficient (Thickness)	Post Diameter With Porous Plate's Drag Coefficient (Thickness)	Reduction of Post Cross Area
403-1	318.5 mm (8.0 mm)	318.5 mm (6.9 mm)	13.4 %
403-2	318.5 mm (10.3 mm)	318.5 mm (9.0 mm)	12.2 %
403-3	318.5 mm (8.0 mm)	318.5 mm (6.9 mm)	13.4 %
403-4	318.5 mm (6.9 mm)	318.5 mm (6.0 mm)	12.8 %
422-1	406.4 mm (9.0 mm)	406.4 mm (7.9 mm)	11.9 %
423-1	355.6 mm (7.9 mm)	355.6 mm (7.9 mm)	0.0 %
423-2	406.4 mm (9.0 mm)	406.4 mm (7.9 mm)	11.9 %
423-3	355.6 mm (7.9 mm)	355.6 mm (7.9 mm)	0.0 %

Table 3. Reduction Effect of Horizontal Post Cross Area of Road Sign with Drag Coefficient

Type of Road Sign	Horizontal Post Diameter With Existing Drag Coefficient (Thickness)	Horizontal Post Diameter With Porous Plate's Drag Coefficient (Thickness)	Reduction of Horizontal Post Cross Area
403-1	190.7 mm (4.5 mm)	190.7 mm (4.5 mm)	0.0 %
403-2	190.7 mm (7.0 mm)	190.7 mm (6.0 mm)	13.8 %
403-3	190.7 mm (4.5 mm)	190.7 mm (4.5 mm)	0.0 %
403-4	165.2 mm (5.0 mm)	165.2 mm (4.5 mm)	9.0 %
422-1	216.3 mm (7.0 mm)	216.3 mm (5.8 mm)	16.7 %
423-1	216.3 mm (4.5 mm)	216.3 mm (4.5 mm)	0.0 %
423-2	216.3 mm (8.0 mm)	216.3 mm (7.0 mm)	12.1 %
423-3	216.3 mm (4.5 mm)	216.3 mm (4.5 mm)	0.0 %

5. 결론

본 연구에서는 풍하중 저감이 가능한 유공형 도로시설물의 기술 적용을 위하여 국내·외 관련 설계기준 및 연구 동향을 조사 분석하였으며, 유공형 도로표지의 설계시, 필요한 항력계수에 대한 설계기준의 준용 가능성을 판단하기 위하여 풍동실험을 수행하였다. 더불어 항력계수 설계기준의 준용에 따른 효과를 분석하기 위하여 유공형 도로표지 구조물의 단면적 감소효과 분석을 수행하였다.

1. 현재 국내 도로시설물 설계기준에서는 유공판의 항력계수에 대한 규정은 마련되어 있지 않다. 반면 미국의 구조물 설계기준 ASCE 7-10에서는 Letchford(2001)의 실험연구 결과를 바탕으로 유공판 항력계수 산정식 설계기준을 규정하고 있다. 유공판 항력계수 관련 미국 설계기준의 국내 준용 가능성 분석을 위하여 유공형 도로표지에 대한 풍동실험을 수행하였다. 본 연구의 풍동실험 결과 값과 미국 설계기준 값이 매우 유사한 수준으로 도출되었으며, 이에 따라 유공판 항력계수 산정식에 대한 준용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 항력계수 설계기준의 준용에 따른 유공형 도로표지 구조물의 단면적 감소효과 분석 결과, 지주는 약

9.45%, 가로재는 6.45%의 단면적이 감소하는 것으로 나타났다. 지주와 가로재를 합친 유공형 도로표지의 전체 구조물은 약 6.45%의 단면적 감소효과가 있다.

유공형 도로표지의 항력계수 설계기준 적용을 통하여 보다 정확한 구조 설계가 가능하며 이에 따라 구조 안정성 확보가 가능하다. 또한 상세 설계변수 적용을 통한 도로시설물의 경제적 설계가 가능하며, 유공형 도로표지와 더불어 유공판을 적용하는 방풍벽, 방음벽 등의 설계기준에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통하여 도로시설물의 안정성 확보 및 국민의 안전에 대한 요구 충족이 가능할 것으로 기대된다.

Reference

- [1] Korea Environment Institute, "Analysis of Vulnerability of Social Infrastructures and countermeasures for strengthening adaptation to climate change", 2009.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Study on Structure and Production Method of Road Sign", 2014.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Regulation of Road Signs", 2016.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Design Standards for Highway Bridges", 2016.
- [5] Ministry of Environment, "Performance and Installation Criteria of Noise Barrier", 2009.
- [6] Architectural Institute of Korea, "Building Structure Standards and Commentary", 2009.
- [7] Korea Electric Power Corporation, "Design Standards for Processing Tower" 2008.
- [8] Y.W. Kim., W.B. Kim. "Stress Analysis on a Structure of Solar Tracker Subjected to Wind Load", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 21 no. 5, pp. 747-754, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.5.747>
- [9] S.H. Shin., K.J. Shin., S.H. Kim., H.J. Kim. "Drag Coefficient for Structural Design of Orchard Supporting System by Wind Tunnel Measurement", *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, vol. 19, no. 4, 147-154, 2015.
- [10] I.C. Kim., T.G. Park., J.H. Lee., Y.J. Lee. "An Experimental Study on the Seohae Grand Bridge's Aerodynamic Behaviors Due to Wind Fences", *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, vol. 7, no. 2, 193-199, 2003.
- [11] U.Y. Jeong., T.K. Park. "Investigation of the Shelter Effect of Porous Wind Fence Using Computational Fluid Dynamics", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 5A, 831-839, 2003.
- [12] U.Y. Jeong., T.K. Park. "Investigation of the Shelter Effect of Porous Wind Fence Using Computational Fluid

Dynamics", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 5A, 831-839, 2003.

- [13] C.W. Letchford, "Wind Loads on Rectangular Signboards and Hoardings", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 89, no. 2, pp. 135-151, 2001.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(00\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(00)00068-4)
- [14] A. Giannoulis., T. Stathopoulos., D. Briassoulis., A. Mistriotis. "Wind Loading on Vertical Panels with Different Permeabilities", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 107-108, pp. 1-16, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.02.014>
- [15] American Society of Civil Engineerings, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" 2010.
- [16] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Development and Commercialization of Lightweight Road Sign", 2015.
- [17] Y.M. Kim. "Building Wind Tunnel Experiment Guidebook for Practitioners", *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, 1998.

성 홍 기(Hong Ki Sung)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경희대학교 사회기반시스템공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 경희대학교 사회기반시스템공학과 (공학석사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 신진연구원

<관심분야>

토목공학, 구조공학

정 규 수(Kyu Soo Chong)

[정회원]



- 2012년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (박사수료)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

교통공학, 지리정보공학