

현수교 케이블 송기시스템 효율화를 위한 지역별 상대습도 환경 분석

서동우, 김가영*
한국건설기술연구원

Analysis of Regional Relative Humidity Environment for Dehumidification System Efficiency of Suspension Bridge Cable

Dong-Woo Seo, Ga Young Kim*

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT)

요 약 국내의 현수교량 주케이블의 경우, 부식을 방지하기 위해 송기시스템을 통하여 주케이블 내부 상대습도를 보통 40%±5% 이하로 유지하고 있다. 국내 주케이블 송기시스템이 설치된 현수교량의 위치는 모두 지리적으로 온난다습한 기후에 노출되는 빈도가 높은 해안지역이며, 특히나 우리나라의 해안지역은 각 계절의 온도차 및 일교차가 크기 때문에 강재 부식에 더욱 열악한 조건이다. 본 연구에서는 지역별 환경분석을 수행함으로써 보편적으로 사용하고 있는 송기시스템의 가동기준 40%가 아닌 좀 더 효율적인 지역별 송기시스템 가동 기준을 수립하는데 기초자료로 활용하고자 하였다. 최근 국내에 가장 큰 영향을 끼친 태풍 BOLAVEN(2012)과 CHABA(2016) 기간의 상대습도 분포, 분석 기간(2012~2016) 중 내습한 모든 태풍의 기간을 제외한 여름철과 겨울철의 상대습도 분포, 기온과 연계한 겨울철 상대습도 분포 분석을 통해 지역별로 송기시스템 가동기준을 차별화하는 것에 대한 근거를 마련할 수 있었다. 미래 기후변화로 인한 해수면 온도 상승 및 강수량 증가의 영향을 고려할 때 더욱더 객관적인 지역별 송기시스템 가동기준이 필요할 것으로 판단되며, 이는 추후 현수교 주케이블의 송기시스템 가동에 대한 경제적 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study examined the safety of a cable stayed bridge caused by damage to the cable system. Many cable-supported bridges, including cable-stayed bridges and suspension bridges, have been constructed on the Korean peninsula. This requires efficient maintenance and management because this structure has complex structural components and systems. This large structure also often faces risks either from manmade causes or natural phenomena. In 2015, the cables on one cable-stayed bridge in South Korea was struck by lightning, which led to a fire on the cables. These cables were damaged, which put the bridge at risk. This bridge was back in use after a few weeks of investigations and replacements of the cables but this was done at enormous social and economic expense. After this event, risk-based management for infrastructure is required by public demand. Therefore, this study examined the risks on the cable system due to potential damage. In this paper, a one cable-stayed bridge in South Korea was selected and its safety was investigated based on the damage scenarios of cable system for efficient and prompt management, and to support decision making. FEM analysis was conducted to evaluate the safety of the bridges after damage to the cable system.

Keywords : Dehumidification system, Main cable, Maintenance, Relative humidity, Suspension bridge

*Corresponding Author : Ga Young Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-995-0814 email: gayoungkim@kict.re.kr

Received May 10, 2018

Revised (1st May 23, 2018, 2nd May 28, 2018, 3rd June 5, 2018, 4th June 7, 2018)

Accepted July 6, 2018

Published July 31, 2018

1. 서론

SOC 시설물 중 특수교량은 규모와 위치 면에서 유지관리가 우선시 되는 사회기반 시설물로서 장기적이고 체계적인 유지관리 전략이 필요하다. 대부분의 특수교량은 케이블 지지교량(사장교, 현수교)으로 우리나라 특수교량은 1973년 남해대교(현수교)를 시작으로 현재 국내에는 국도, 지방도, 고속도로 등에 약 60여 개소 이상이 건설되어 운영 중에 있다. 또한, 연육교 및 연도교의 증가로 향후 특수교 건설이 지속적으로 증가될 것으로 예상된다.

주로 국내의 특수교량이 위치한 지역은 대부분 바닷가 인근에 위치하고 있어 다습한 기후에 노출되는 빈도가 높은 특성이 있다. 우리나라는 육지보다 해안가가 계절의 온도차 및 일교차가 크기 때문에 강재 부식에 더욱 열악한 조건이다. 현수교 주 케이블의 경우 이러한 부식 환경을 근본적으로 개선하기 위하여 주 케이블 내부 상대습도를 $40\pm 5\%$ 이하(문헌에 따르면 강재의 대기 중 부식은 상대습도 40%이하 일 때 거의 발생하지 않으며 상대습도 60%부터 부식이 급격히 증가[1-2])로 유지시킴으로서 부식을 억제하는 송기시스템이 도입되고 있다.

처음 송기시스템이 도입된 교량은 일본의 Akashi-Kaikyo Bridge로, 준공된 지 10년이 채 지나지 않아 주 케이블 소선 부식이 발견되어, 이후 케이블 유지관리에 대한 보다 근본적인 대책마련이 요구되는 계기가 되었다. 초기에는 상대습도 기준이 60%이하였으나, 현재 내부케이블은 40%이하, 스프레이 챔버(Spray Chamber)는 50%이하 기준으로 시스템을 가동하고 있다. 이외 국외 교량들은 노후화가 진행된 교량의 유지관리를 위해 공용 중 송기시스템을 설치한 경우가 대부분이다[3-6].

국내의 경우 송기시스템이 설치된 교량은 광안대교, 영종대교, 울산대교, 이순신대교, 소록대교 등 총 5개 교량으로 보통 $40\pm 5\%$ 기준으로 시스템이 가동되고 있다. 영종대교의 경우 국내 최초로 송기시스템을 설치하여 운영 중에 있으며, 소록대교의 경우 모니터링 시스템이 구축되어 있지 않아 한국시설안전공단에서 관리자가 일주일에 한번 소록대교에 방문하여 제어판과 안전판 유닛 등을 통해 습도를 체크하고 있다. 한국시설안전공단에서는 소록대교의 송기시스템에 대한 모니터링 시스템을 구축하기 위한 사전조사로, 송기시스템의 성능을 검증하는

연구를 수행하였고, 또한 여름, 겨울에 일주일씩 케이블 바람 배기구에 습도계를 설치하여 데이터를 획득한 후 현재 시스템 상시가동의 효율성에 대해 분석한 바 있다. 또한, Park et al.[7]에 따르면 대기 중 습도와 송기시스템, 주 케이블 내부의 상대습도 값의 차이가 있음을 보이며 성능검증을 수행하였다. 대부분 송기시스템 설치 후 성능검증에 대한 연구가 다수 진행되었으나, 가동 기준의 타당성 및 케이블 교량이 위치한 지역의 환경 분석은 수행된 바가 없다.

기상청의 종관기상관측장비(ASOS; Automated Synoptic Observing System)지점은 교량들과의 상당한 거리가 있기 때문에 연구 대상인 각각의 교량들의 케이블에 미치는 영향을 정확하게 파악할 수는 없다. 또한 케이블 자체의 유지관리 혹은 안정성 평가에는 상대습도, 풍속, 기온 등에 대한 기타 기상환경에 대한 평가와 교량에서 실제로 계측한 데이터를 통한 분석이 필요하다. 하지만 본 연구에서는 현수교 케이블 송기시스템의 가동 기준을 수립하는데 있어 교량의 기상 및 지리적 환경에 따라 가동기준의 차이를 둘 필요성을 제기하기 위한 기초자료로 활용하고자 국내 현수교량이 위치한 지역의 기상청 ASOS 상대습도 데이터를 이용하여 일반적인 상대습도 분포, 태풍기간 및 겨울/여름철의 상대습도 패턴 분석 등을 분석하였다.

2. 국내 지역별 상대습도 분석

지역별 상대습도(RH; Relative Humidity) 분석을 위해 송기시스템이 설치되어있는 교량의 지역을 중심으로 지역 선정하였으며 데이터 및 지역정보는 Table 1과 같다. 교량 A~E의 경우 각각 가장 가까운 자동기상관측장비(AWS; Automated Weather Station) 지점의 자료를 사용하고자 하였으나 상대습도자료를 구축하고 있지 않아, 차선책으로 교량으로부터 가장 가까운 ASOS지점을 택하여 연구를 수행하였다.

KS D ISO 9223[8]에 따르면 금속 및 합금에 대한 대기부식의 주요 인자에 젖음시간이 포함되며, 젖음시간은 금속표면이 대기부식을 유발할 수 있는 흡착성 및 전해질의 액상필름에 의해 덮여있는 동안의 기간으로, 온도 0°C 이상, 상대습도 80%이상인 시간이 연간 어느 정도 지속되는지에 따라 평가한다. 본 연구에서 젖음시간 계

Table 1. Data information

Region(Bridge no.)	Distance between ASOS and Bridge(km)	ASOS(no.)	Period	Time scale	Typhoon affect (radius 250km)	
					BOLAVEN (2012)	CHABA (2016)
Incheon (Bridge A)	8.3	Incheon(112)	2012.01.01. ~ 2016.12.31.	1hour	o	
Ulsan (Birdge B)	8.3	Ulsan(152)				o
Busan (Birdge C)	7.8	Busan(159)				o
Goheung (Bridge D)	17.33	Goheung(262)			o	o
Kwangyang (Bridge E)	3.5	Kwangyang(266)			o	o

산은 제외하되, 이를 평가하는 상대습도 80% 기준과 앞서 언급한 강재부식의 기준인 상대습도 40%, 60%를 반영하여, 분석 범위를 ① RH<40%, ② 40%≤RH< 60%, ③ 60%≤RH< 80%, ④ RH≥80% 로 구분하였다.

Fig. 1은 상대습도 ①, ②, ③, ④ 구간의 지역별 분포를 나타낸 것이다. 지역별 데이터(평균 약 4만 4천개)를 이용하여 분포를 살펴본 결과, 인천의 경우 다른 지역에 비해 RH<40% 구간 데이터가 극히 적었으며 40%≤RH 구간에 무려 96%가 분포하였다. 같은 남해안이지만 전라남도도에 위치한 고흥과 광양이 유사한 분포가 나타났으며, 경상남도도에 위치한 부산과 울산이 유사한 분포로 나타났다. 부산과 울산의 경우에는 RH<40% 구간이 16%로 타 지역에 비해 높은 비율을 보이지만, 대부분의 상대습도가 40%≤RH 구간의 비율이 높게 나타났다.

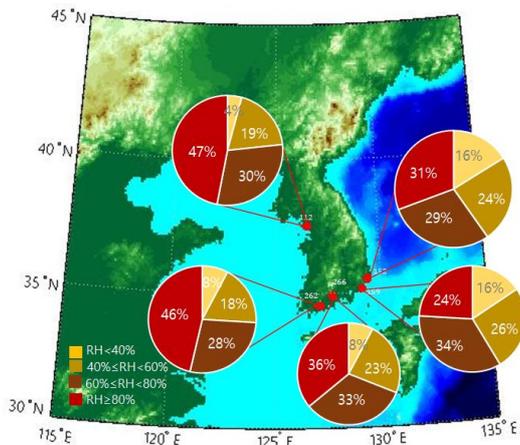


Fig. 1. Regional distribution of hourly RH from 2012 to 2016

통상적으로 북서태평양에서 발생한 태풍의 약 12%가 우리나라에 내습하며 그 중 약 84%가 7, 8, 9월에 내습한다. 보통 한반도에 내습하는 태풍은 육상을 거치지 않고 해상에서 발생 및 이동하기 때문에 해상으로부터 오랫동안 에너지, 즉 수증기를 장기간 머금은 상태로 한반도에 진입하여 상대습도가 높아질 수밖에 없다. 따라서 2.1에서는 태풍기간동안의 상대습도 경향을 분석하고 2.2에서는 태풍 기간을 제외한 나머지 여름데이터와 겨울데이터를 분석하였다. 또한 2.3에서는 젖음시간의 기준인 온도 0℃ 이상, 상대습도 80%이상인 경우의 상대습도 자료만 사용하여 분포를 살펴보았다.

2.1 CASE 1: 태풍 영향기간 상대습도 분포 분석

2012년~2016년 기간 동안 한반도 근역(기상청에서 정의하는 태풍의 한반도 영향권역, 28° N~40° N, 120° E~132° E)에 진입한 태풍은 총 18개이며(Fig. 2 참조) 이중 우리나라에 가장 큰 영향을 끼친 태풍은 볼라벤(2012)과 차바(2016)이다. 이들은 우리나라에 진입하는 태풍 경로의 대표적인 형태로서 대개 제주 및 남해안이 태풍의 영향을 많이 받게 된다. 차바는 강한 바람과 많은 비를 동반하여 부산 및 경남지역에 많은 피해가 있었으며, 이는 한반도에 상륙한 역대 태풍 중 세 번째로 강력하였다. 볼라벤은 강한 바람을 동반한 태풍으로, 강우량은 적은 태풍이었다.

Fig. 3(a)와 (b)는 태풍 볼라벤과 차바 시기의 상대습도를 각각 나타낸 것이다. 볼라벤과 차바의 전체 생애주기 기간 동안이 아닌 한반도 근역에 진입한 기간(볼라벤: 08.27.00:00~ 08.28.12:00, 차바: 10.04.03:00~ 10.05.06:00)으로 설정하여 분석하였다.

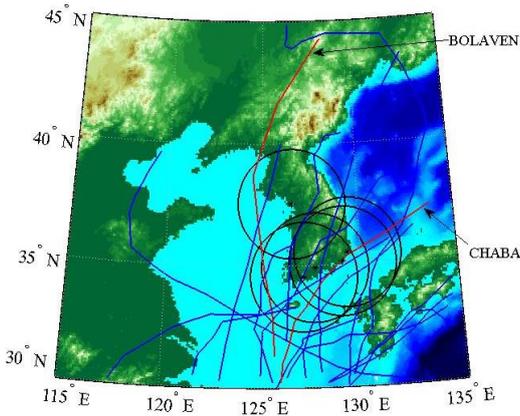
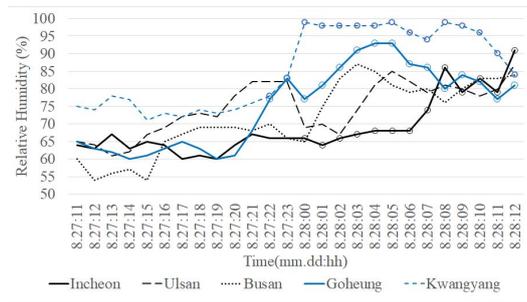
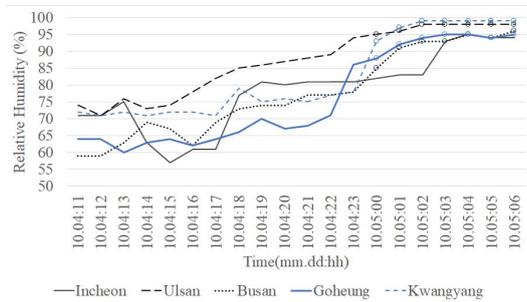


Fig. 2. Affect area and track of typhoon affecting to Korean Peninsula (Black point: Studied region, Black circle: radius 250km from region, Red line: Track of studied typhoon; Black line: Total typhoon track of affecting to Korean Peninsula)



(a)



(b)

Fig. 3. RH trend of each region during typhoon affect period (a) Typhoon ‘BOLAVEN’, (b) Typhoon ‘CHABA’ (Circle: within radius 250km)

통상적으로 시설물이 태풍의 영향권에 포함되는 기준을 시설물 기준 반경 250km로 설정하며[9], 2.1절에 한해 해당 지역의 기상지점이 아닌 교량 A~E의 위치 기준으로 평가하였다.

교량 A, B, C는 블라벤, 교량 B, C, D, E는 차바의 영향반경에 포함되었다. 태풍이 한반도 근역에 진입한 후 각 지점별로 태풍 영향반경에 포함이 되지 않았음에도 불구하고 대부분 상대습도가 60%이상이었으며 모든 지역에서 상대습도가 증가하는 패턴을 보였다. 특히 태풍의 영향반경에 포함되기 전부터 영향반경에 포함(Fig. 3의 Circle)되기까지 상대습도가 점차 증가하여 대부분의 지역들이 각각 가장 높은 상대습도를 보이고 있다.

태풍 블라벤은 서해상으로 이동하여 인천, 고흥, 광양과 인접하여 이동하였으며, Fig. 3(a)에서 보이는바와 같이 부산, 울산에 비해 상대습도가 높은 형태로 보이고 있다. 인천의 경우에는 태풍보다 한 단계 아래 등급인 Tropical storm 형태로 접근하여 태풍이 갖고 있는 수증기량이 적어 상대습도가 비교적 낮게 나타난 것으로 판단된다.

태풍 차바는 북태평양에서 발생하여 북서방향으로 이동하다가 위도 30도 영역에서 북동방향으로 전향하는 전형적인 태풍의 경로로 우리나라의 제주도와 남해안이 큰 영향을 받는 태풍의 형태이다. 태풍 차바의 경우에 모든 지역에서 점차 상대습도가 증가하는 경향을 보였으며 특히 남해안에 위치한 고흥, 광양, 부산, 울산이 급속도로 상대습도가 증가하여 태풍의 영향권역에 해당되는 시기에는 상대습도가 대부분 90%가 넘는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 후후 차바와 유사한 경로로 진행되는 태풍 발생 시 상대습도 경향을 사전에 파악하고 주 케이블의 상대습도를 관리 할 수 있다.

2.2 CASE 2: 겨울/여름철 상대습도 분포 분석

겨울은 12.01.~익년 02.29., 여름은 06.01.~09.30. 으로 기간을 설정하여 상대습도의 분포를 살펴보았다. 상대습도가 태풍 영향기간동안 급증하는 경향을 2.1에서 확인하였으며, 이를 특별한 상황으로 간주하여 여름철 분석 기간에서 제외하였다. 또한 여름철의 경우 상대습도가 대부분 $RH \geq 80\%$ 구간에 포함되는 것을 고려하여, 분석범위를 ① $RH < 40\%$, ② $40\% \leq RH < 50\%$, ③ $50\% \leq RH < 60\%$, ④ $RH \geq 60\%$ 으로 설정하였다. 범위 중 50%에 대한 수치는 송기시스템의 가동기준이 대개 $40 \pm 5\%$

이므로 추후 가동기준에 대한 분석을 위한 기반자료로 활용하고자 포함하였다.

Fig. 4는 여름과 겨울철 상대습도 분포를 나타낸 것이다. Fig.4(a)와 (b)에서 보이는바와 같이 여름철과 겨울철 상대습도 차이가 큰 것으로 나타났다. 여름철 상대습도는 모든 지역에서 케이블이 급격히 부식하는 기준인 $RH \geq 60\%$ 인 경우가 평균 90%를 육박할 정도로 가장 높은 빈도로, 교량 A~E 모두 송기시스템이 상시 가동될 수밖에 없는 환경에 있다. 겨울철의 경우 모든 지역에서 $40\% \leq RH < 50\%$ 구간의 분포가 여름철보다 비교적 높게 나타난 것으로 보아, 겨울철은 여름철과 같이 시스템 상시가동의 가능성이 적고 시스템 가동 유무에 민감할 것으로 판단된다.

인천의 $RH \geq 60\%$ 인 경우 여름철에 약 93%, 겨울철에 64%로 모든 지역 중 가장 상대습도가 높은 것으로 나타났으며, 인천지역의 교량 A가 타 지역에 비해 케이블이 취약할 수밖에 없는 환경임을 확인하였다. 반면 교량 B, C가 위치한 울산과 부산의 경우 겨울철엔 $H \geq 60\%$ 인 경우와 $H \leq 40\%$ 인 경우가 비슷한 분포로 나타났으며, 타 지역에 비해 상대습도가 평균적으로 낮은 경향을 보였다.

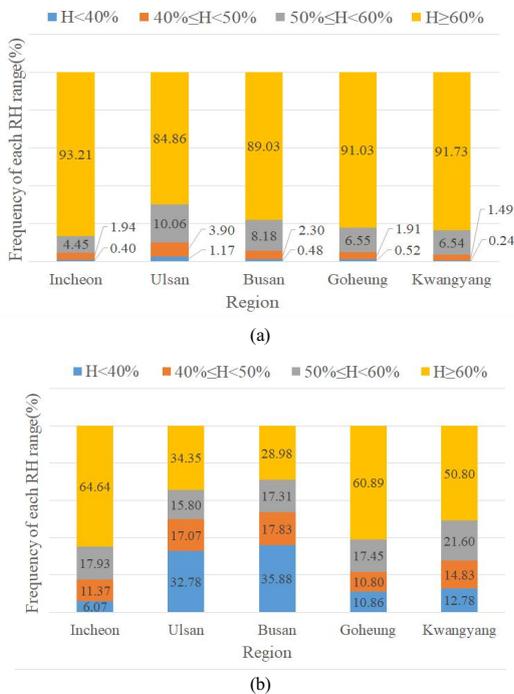


Fig. 4. RH trend of each bridge in Summer and Winter (a) Summer (b) Winter

2.3 CASE 3: 겨울철 '젖음시간' 에 부합하는 상대습도 분포 비율 분석

앞서 언급한바와 같이 KS D ISO 9223[8]에 따르면 급속 및 합급에 대한 대기부식의 주요 인자에 젖음시간이 포함된다. 이는 온도 0°C 이상, 상대습도 80%이상인 경우를 반영하는 것으로, 본 연구에서는 해당 기준이 지속되는 시간에 대한 고려는 제외하고, 온도 0°C 이상, 상대습도 80%이상인 상대습도 데이터만 이용하여 지역별로 현황을 살펴보았다.

Fig. 5는 ① $0^{\circ}\text{C} > T$ (Temperature), $RH = \text{All Range}$, ② $0^{\circ}\text{C} \leq T$, $RH < 80\%$, ③ $0^{\circ}\text{C} \leq T$, $RH \geq 80\%$ 구간의 상대습도 분포 비율을 나타낸 것이다. 인천이 타 지역에 비해 최대 약 37%정도 기온이 낮은 분포를 보였으나 반대로 케이블 부식에 취약한 $0^{\circ}\text{C} \leq T$, $RH \geq 80\%$ 구간의 비율은 고흥지역 다음으로 높게 나타났다. 반대로는 경향이 뚜렷하게 보이는 인천 지역에 위치한 A 교량은 타 지역에 위치한 교량보다 추후 젖음시간 관련하여 상대습도 변동성과 같은 경향 분석이 필요 요구된다.

국립기상과학원(구) 국립기상연구소[10]에 따르면 우리나라 주변해역은 전 세계 해양 중 해수면 온도 상승이 상대적으로 큰 지역으로 분석되었고 미래(2071년~2099년)에는 최대 4.7°C 까지 증가, 특히 남해안, 동해안보다 서해안지역의 해수면온도 증가량이 비교적 클 것으로 전망하였다. 또한 강수량의 경우 계절별 지역차이가 두드러지며 여름철에 남해안지역에 현재의 두 배 이상으로 강수량 증가가 나타날 것(그만큼 습도도 높아질 가능성이 큼)으로 전망하여, 대부분의 케이블교량이 해상에 위치한 것을 감안한다면 기상현황에 따른 케이블 유지관리가 더욱더 중요해 질것으로 판단된다.

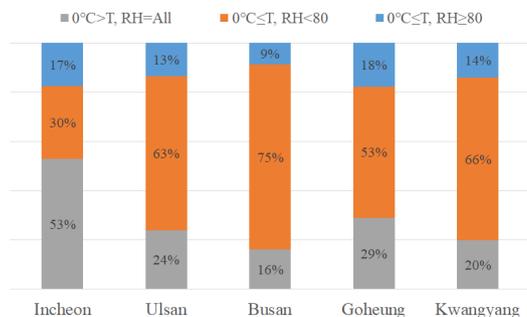


Fig. 5. Distribution rate of all RH data considering to range of temperature and RH

3. 결론

현재 우리나라의 송기시스템은 상대습도 40±5% 기준으로 가동하고 있다. 모든 송기시스템이 강제 부식이 급격하게 나타나는 60%를 고려하여, 해당 기준을 사용하고 있으나 무분별한 시스템 가동이 아닌 지역별 환경 분석을 통해 추후 지역별 효율적인 송기시스템 가동 기준을 수립하는데 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다. 본 연구에 사용한 데이터는 실제 송기시스템의 습도 데이터와는 달리 시간 간격이 길고, 교량과 거리가 있는 데이터이지만, 다음과 같이 각 교량의 환경을 파악할 수 있었다.

5개의 교량은 여름철, 겨울철, 그리고 특별한 경우인 태풍의 영향기간 모두 케이블의 환경이 취약할 수밖에 없는 곳에 위치해 있다. 특히 교량 A, D, E는 겨울철마저 강제부식에 취약한 상대습도 60%이상인 경우가 높은 비율로 나타났다. 여름철의 경우는 모든 지역에서 24시간 시스템 가동을 할 수밖에 없는 환경이었으나, 겨울철의 경우 상대습도 60% 이상인 빈도가 약 28~34%로 상대적으로 낮은 지역에 위치한 교량 B와 교량 C의 경우 상시가동보다는 기상상황에 맞추어 가동함으로써 경제 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단하였다. 또한 태풍이 발생했을 시에는 상대습도가 가동기준에 미치지 않더라도 태풍의 영향을 고려하여 사전에 시스템을 가동하는 것이 효율적일 것으로 판단하였다.

또한 금속 및 합금의 대기부식 주요 인자인 젖음시간과 관련된 온도 0℃ 이상, 상대습도 80% 이상 분포에 대한 분석한 결과 계절별 분석과 연계하여 교량 A와 E가 위치한 인천과 고령지역의 경우 여름/겨울 모두 상대습도가 타 지역에 비해 다소 높은 비율을 차지하였으며, 5개 지역 중 인천지역에 위치한 교량 A가 상대습도 변동성 등 추가적인 분석이 필요 요구된다.

우리나라의 주변 해수면온도는 미래(2071년~2099년)에 최대 4.7℃까지 증가하고, 계절별/지역별 강수량의 차이가 두드러질 것으로 전망되어 남해안, 서해안에 위치한 모든 교량에 대해 기후환경 변화에 대한 대비를 위하여 케이블 유지관리 시 지역 별 상대습도 상황을 더욱더 고려해야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 지역별 송기시스템 가동기준을 차별화하는 것에 대한 근거를 마련할 수 있었으며, 추후 본 연구에서 분석한 방법을 기초로 송기시스템 또는 교량으로

부터 획득할 수 있는 상대습도 외 기온, 풍속 등 자료를 이용하여 데이터 종류 별 비교 및 교량별 비교 분석을 수행함으로써 보다 상세한 송기시스템 가동기준을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] W. H. J., "A Laboratory Study of the Atmospheric Corrosion of Metals," *Trans. Faraday Soc.*, vol. 31, pp. 1668-1700, 1935.
DOI: <https://doi.org/10.1039/TF9353101668>
- [2] S. Alampalli, W. J. Moreau, "Inspection, Evaluation and Maintenance of Suspension Bridges," *CRC Press*, 372, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1201/b19058>
- [3] K. A. Nielsen, M. D. Hansen, M. L. Bloomstine, J. H. Lambertsen, "The Storebaelt East Bridge Main Cable Dehumidification, World's Largest Retrofit and Latest Design Optimization," *Technical Program Papers of 9th International Cable Supported Bridge Operator's Conference*, pp. 508-517, June, 2016.
- [4] C. Colony, D. Rogers, D. Nims, J. Bradley, "Investigation, Proposed Rehabilitation and Application of a Corrosion Sensor to the Anthony Wayne Bridge Suspension Cables," *Technical Program Papers of 9th International Cable Supported Bridge Operator's Conference*, pp. 83-92, June, 2016.
- [5] P. Waldvogel, S. Beabes, A. Tamrat, "Main Cable Dehumidification Installation at Wm. Preston Lane, Jr. Memorial (Bay) Bridge," *Technical Program Papers of 9th International Cable Supported Bridge Operator's Conference*, pp. 104-115, June, 2016.
- [6] V. Perier, M. Desperes, "Aquitaine Bridge Cables: Study of Dehumidification System Efficiency," *Technical Program Papers of 9th International Cable Supported Bridge Operator's Conference*, pp. 116-123, June, 2016.
- [7] S. H. Park, K. C. Oh, G. S. Kim, D. W. You, G. J. Park, "A Study on the Efficiency of Dehumidification System for Main Cables of a Marine Bridge," *Proc. of 2016 Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Conference*, vol. 20, no. 1 pp. 416-417, April, 2016.
- [8] Korea Industrial Standards Commission, "KS D ISO 9223: 1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres-Classification," 2015.
- [9] S. Lee, G. Y. Kim, "Estimation of Extreme Wind Speeds in Korean Peninsula using Typhoon Monte Carlo Simulation," *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, vol. 29, no. 2 pp. 141-148, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2016.29.2.141>
- [10] National Institute of Meteorological Research, "Climate Scenario Report 2011 responding to IPCC 5th assessment report," Korea Meteorological Administration, Korea, pp. 57-72, 2011.

서 동 우(Dong-Woo Seo)

[정회원]



- 2008년 5월 : Bucknell Univ. 토목 환경공학과 (구조공학 석사)
- 2013년 2월 : Northeastern Univ. 토목환경공학과 (구조공학 박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

내풍공학, 구조물 유지관리, 구조물 SHM

김 가 영(Ga Young Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충북대학교 구조시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 충북대학교 토목시스템공학과 (공학박사)
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

내풍공학, 자연재해, 구조물 유지관리