

케이블 지지교량 낙설 대책

Anti-icing Measures for Cable Supported Bridges



변 상 구¹⁾

Byun, Sang Gu



주 형 석^{2)*}

Ju, Hyeong Seok



오 달 수³⁾

Oh, Dal Soo



김 동 아⁴⁾

Kim, Dong Ah

1. 서 론

최근 서·남해안 개발사업에 따라 서·남해안 도서를 연결하는 연육교와 연도교 등의 장대교량 건설이 증가하고 있다. 건설되는 교량형식은 대형 선박의 통행이 가능하도록 형하 공간이 높고 장경간이 가능하며 지역의 랜드마크로 활용될 수 있는 사장교나 현수교와 같은 케이블 지지교량이 대부분을 차지하고 있다.

2012년 발표된 도로업무편람(2012. 5월)에 따르면 전국적으로 케이블 지지교량은 총 24개 소로, 사장교 20개소와 현수교 4개소가 있으며(2010. 12. 31기준), 현재도 목포대교나 이순신대교 등 케이블지지교량이 지속적으로 증가되고 있는 추세이다.

1) 한국시설안전공단 특수교유지관리센터 목포사무소 소장

2) 한국시설안전공단 특수교유지관리센터 목포사무소 차장

3) 한국시설안전공단 특수교유지관리센터 목포사무소 과장

4) 한국시설안전공단 특수교유지관리센터 목포사무소 사원

* E-mail : jujuhs@kistec.or.kr

케이블 지지교량은 차량이 통행하는 보강거더보다 상단에 주탑과 케이블이 위치하게 되는 하로 형식의 교량으로, 상단 구조부재로 인해 이전에 관리자들이 경험하지 못했던 사용상 문제점들이 드러나고 있으며, 이중 본 기사에서는 겨울철 케이블에 생성되는 얼음에 의한 낙설 문제 및 그에 따른 대책을 소개하고자 한다.

2. 낙설 문제

지리적 특성상 습도가 높은 해안가에 위치한 케이블 지지교량에는 겨울철 강설시에 주탑 및 케이블에 눈이 쉽게 부착되고, 부착되어 쌓인 눈은 결빙되며, 이후 진동이나 기온상승 등으로 자유낙하 하게 된다. 이처럼 얼음이나 고드름의 낙하는 주행중인 차량에 직접적인 피해뿐만 아니라 운전자의 주의를 흐트려 2차 사고를 유발할 가능성이 높으므로 추후 교량의 운영 및 관리상에 문제점이 될 수 있다. 특히 케이블 배치방식

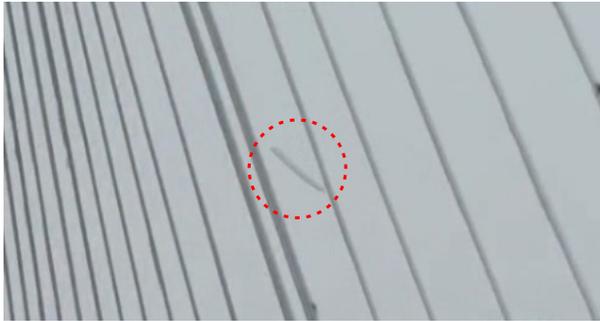


Fig. 1 케이블 낙설 현상

이 주탑 정부에서 보강거더 좌·우측으로 방사형 배치된 교량에서는 얼음이 보·차도부로 직접 낙하될 수 있으므로 더욱 주의가 요구된다.

2.1 낙설 사례

최근 국내·외에서 보고된 낙설사례를 소개하면 다음과 같다.

- 1) 인천대교(2009년 10월 준공)에서는 2010년 2월 사장교 케이블에서 생성된 얼음이 강풍 및 기온상승으로 인해 해상으로 낙하하는 문제가 발생, 인천해양경찰서에서 통항선박 고드름 낙하주의보를 발령한바 있음.
- 2) 미국의 Tacoma Narrows Bridge(1950년 10월 준공)에서는 2011년 1월, 현수케이블에 쌓여있던 눈과 얼음의 낙설 문제로 공용후 두 번째로 9시간 동안 교통통제를 실시하였음.
- 3) 미국의 Veterans' Glass City Skyway Bridge(2007년 6월 준공)에서는 2011년 3월 사장재 케이블에 생성된 얼음이 다음날 기온 상승으로 녹으면서 차도로 낙하되었고, 이후 추가 낙설 위협으로 교통통제를 실시하였음.
- 4) 캐나다 Port Mann Bridge(2012. 9월 준공)에서는 2012년 12월 발생한 낙설로

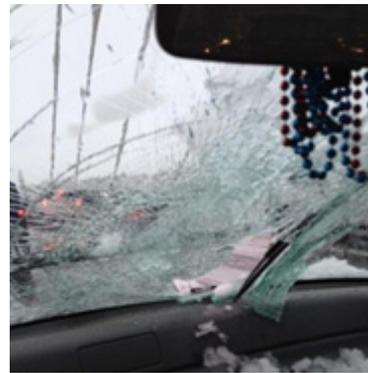


Fig. 2 낙설에 따른 피해사례(Port Mann Bridge)

운행차량 유리창 파손 및 인사고가 발생되었음.

이와 같이 케이블 지지교량에서의 낙설사례는 강설량이 많은 한랭지역에 위치한 교량들을 제외하고는 매우 드문 일이었으나, 최근 들어 그 외 지역에서도 이상 기후변화에 따른 잦은 강설에 따라 낙설사례가 증가되고 있는 추세이다.

2.2 낙설 대책

현재 국내에서는 교량 계획 및 설계시 낙설 방지를 위한 기준은 정립되어 있지 않다. 다만 낙설 사례로 소개된 인천대교에서와 같이 사후 관리를 위한 개별 대책은 마련되고 있다.

Table 1 낙설 대책

종류	개요	
부착 방지 공법	도장	착설방지제, 콘크리트 방식도장, 방수도료 등의 도료로 도장하거나 도장된 패널을 설치
	금속 패널	티탄, 스테인레스, 알루미늄 등의 경사진 금속패널을 설치
제설 공법	용설	전열기를 내장한 알루미늄계 패널을 설치 효과가 확실하나 눈이 녹은물에 의한 고드름 방지 대책 및 고장시 유지관리 필요
	인력 제설	착설상황에 따라 고소작업차를 이용 인력으로 제설 장비의 높이 제한에 의해 적용이 불가할 수 있고 장시간 교통통제가 필요
	로봇 제설	로봇을 이용 케이블에 부착된 얼음 및 잔설 제거 케이블에 단면변화 또는 부착시설물이 있는 경우 적용이 불가하고 제설시 교통통제가 필요



Fig. 3 부착방지공법 (금속 패널)

국외의 경우 일본에서는 교량 계획 단계에서부터 기본사항으로 겨울철 낙설이 우려되는 지역에는 최대한 하로 형식의 교량은 선택하지 않는 것을 원칙으로 하고 있다. 따라서, 이 지역에서는 필요에 의해 하로 형식 교량을 선택시 사전 낙설 대책을 수립한 후 이를 설계단계부터 반영하고 있다. 그 외 지역에서는 우리나라와 같이 사후 대책을 마련하고 있는 정도이다.

낙설대책으로 국·내외 케이블 지지교량에 적용된 사례를 분석한 결과, Table 1과 같이 크게 눈 부착을 사전에 방지하는 공법과 부착된 눈을 제거하는 공법으로 분류되어 진다. 이중 눈 부착을 사전에 방지하는 부착방지공법으로는 도장 및 금속 패널공법이, 부착된 눈을 제거하는 제설공법으로는 용설, 인력 및 로봇공법이 적용되고 있다.



Fig. 4 제설공법 (인력)



Fig. 5 제설공법 (로봇)

2.3 적용 사례

케이블 지지교량에 도입될 수 있는 낙설 대책 중 실 적용사례를 소개하면 다음과 같다.

일본 북해도에 위치한 Hoshinohurusato교는 연장 265m, 폭 18.3m, 주탑고 62.5m의 사장교로서 대표적인 부착방지공법 적용 사례이다. 건설당시 낙설 대책으로 주탑정부에 45도 경사면을 중간가로보 상단에는 등근 형태의 경사면을 설치하였으나, 공용전 강설시기에 주탑정부, 중간가로보, 케이블정착부 및 케이블등에 착설이 관측되어 이후 금속 패널을 이용한 추가 부착방지공법이 적용되었다. 금속 패널로는 다른 재료에 비해 열전달률이 좋은 순티탄 패널을 사용하였고 표면저항을 저감하도록 면마감을 실시한 후, 눈 미끄러짐에 효과적인 60도를 경사각도로 하여 주탑 정부, 중간 가로보 및 케이블 정착부에 각각 설치하였다.

인천에 위치한 인천대교 사장교는 연장 1,480m,



Fig. 6 강설시 교량전경 (Hoshinohurusato)



Fig. 7 티탄 패널 설치 전경



Fig. 8 제설 로봇 (인천대교)



Fig. 9 제설 로봇 운용 예 (인천대교)

Table 2 로봇 사양 (인천대교)

구 분	내 용
주행능력	상승 : 220v전원을 이용 10m/min로 진행(자주식) 하강 : 뱀퍼를 이용한 자유낙하 방식 각도 : 50° 등반
제설방식	제빙 : 원뿔형 제빙치구 이용 잔설 : 브러쉬 이용
로봇체원	크기 : 300mm×300mm×300mm 무게 : 25kg
특징	설치 : 이동식(탈·부착방식) 적용 : 케이블 직경에 따른 튜닝방식

폭 31.4m, 주탑고 235.8m로서 케이블 제설공법으로 자주식 로봇을 적용한 사례이다. 낙설 사례에서 언급된 바와 같이 2010년에 통항선박 고드름 낙하주의보가 발령된바 있고, 이후 케이블 제설공법으로 자주식 로봇을 배수구에는 고드름 방지를 위한 비산장치를 설치하였다. 로봇 도입 이후 40개 케이블을 대상으로 한 운행 테스트 결과 제설 능력이 있는 것으로 보고 되었다. 적용된 로봇의 사양은 Table 2와 같다.

Table 3 로봇 사양 (Port Mann Bridge)

구 분	내 용
주행능력	속도 : 부착된 케이블이용 하강시 61m/min
제설방식	제빙 : 4개의 스크래퍼 이용 잔설 : 브러쉬 이용
로봇체원	길이 : 600mm
특징	설치 : 고정식 적용 : 케이블 직경에 따라 제작

캐나다 밴쿠버에 위치한 Port Mann Bridge는 연장 850m, 폭 65m, 주탑고 163m의 사장교로서 케이블 제설공법으로 견인식 로봇을 적용 예정인 사례이다. 2012년 12월 낙설 사고이후 케이블에 부착된 눈과 얼음을 제거하기 위해 전체 케이블 288개소 중 152개소에 로봇을 설치키로 계획하고, 적용 테스트 중에 있다. 케이블에 설치 예정인 로봇의 사양은 Table 3과 같다.



Fig. 10 제설로봇 조감도 (Port Mann Bridge)



Fig. 11 제설 로봇 운용 예상도 (Port Mann Bridge)

3. 적용성 검토

위에서 소개된 적용 사례들은 낙설에 따른 위험상황이 해제 될 때까지 차량 통제만을 실시하는 방법에 비해 피해를 최소화하기 위한 적극적인 대책으로 분류될 수 있다.

이중 부착방지공법의 적용은 구조물에 눈이 착설되지 않는 단면 및 형상을 설계단계에서부터 반영하는 것이 효과적일 것이라 판단된다.

제설공법은 유지관리 및 작업위험성이 있는 용설 및 인력제설보다 로봇을 이용한 공법이 최근에 도입되고 있으며, 향후 케이블 비파괴 검사 등의 활용도 가능하다.

로봇공법은 크게 주행 방법에 따라 자주식과 견인식으로 분류될 수 있다. 자주식의 경우 필요 시 케이블에 거치되어 운영되고 케이블 직경에 따른 튜닝방식으로 확장성이 좋다는 장점이 있지만 등반 각도의 제한, 작업 케이블 수에 따라 가용 로봇수, 운영시간 및 인원이 많이 소요된다는 단점이 있다. 견인식의 경우는 상시 설치되어 있어 다수의 케이블에 동시 작업이 가능하고 작

업속도가 빠르다는 장점이 있으나 현재까지 실 운영상의 검증결과가 없으며 영구 거치되므로 미관을 해칠 우려도 있다.

4. 결 론

본 기사에서는 케이블 지지교량 관리에 있어 겨울철 예상되는 낙설문제 및 그에 따른 대책을 소개하였다.

일반적으로 케이블 지지교량에서의 낙설현상은 주탑 및 케이블에 착설된 눈이 밤사이 결빙 되고, 다음날 기온 상승으로 녹아 낙하되므로 사전 인지 없이는 현상 파악과 대처가 쉽지 않다. 또한 온대와 냉대에 걸친 기후특성을 보이는 우리나라와 같은 지역에서는 발생빈도가 매우 낮은 현상으로 간주되어 태풍이나 강풍등에 의한 위험요소보다 낮게 취급되어 지고 있는게 사실이다.

그러나, 최근 들어 급작스러운 기후변화로 겨울철 강설량이 증가되고 있고 이후 낙설 가능성도 점차 높아지고 있으므로 교량의 기능유지를 위해 향후 구체적인 검토와 대책이 필요하다.

참고문헌

1. '도로업무편람', 국토해양부, 2012.
2. '설계요령(도로편)', 국토교통성 북육지 지방정비국, 2012.
3. Ebiko Yasuyoshi, Matuhisa Tadayshi and Ookuma Ikuo., "A Passively Slipping of Snow of Hoshinohurusato Bridge by using a Titanium Material", Bridge and Foundation, 2005.
4. Jung, H. J., Yang, T. H., Jang, B. S., "Field Application of a Robotic System on Cable Stays of Incheon Bridge for Snow Removal", ISARCS Conference, 2011.

담당 편집위원: 박성우
(한국시설안전공단 차장)
sungwoo@kistec.or.kr