

신뢰성에 기초한 사장교 케이블 장력 관리기준치 설정

Reliability-Based Managing Criteria for Cable Tension Force in Cable-stayed Bridges

조 호 남*

강 경 구**

차 철 준**

Cho, Hyo-Nam

Kang, Kyung-Koo

Cha, Cheol-Joon

Abstract

This paper presents a methodology for the determination of optimal managing criteria for cable tension force in cable-stayed bridges using acceleration data acquired by monitoring system. There are many long span bridges installed with monitoring system in Korea. The monitoring systems are installed to diagnose abnormal behavior or damages in bridges and to warn these to bridge management agency. In cable-stayed bridges, the cable tension force could be an important indicator of abnormal behavior because of the geometric configuration of the cable-stayed bridge. If the management value of cable tension force is set too high or too low, then the monitoring system could not warn properly for the abnormal behavior of a bridge. Generally, the management value is set by empirical or engineering judgment, but in this paper, a new methodology for the determination of managing criteria for cable tension force is proposed based on the probability distribution model for tension force and reliability analysis. The proposed methodology is applied to a real concrete cable-stayed bridge in order to investigate its applicability.

요 지

본 논문은 사장교에서 모니터링 시스템을 통해 획득한 가속도 자료를 이용하여 케이블 관리기준 장력을 결정하기 위한 방법을 제시한다. 현재 한국의 많은 장대교량에 모니터링 시스템이 설치되어 있다. 모니터링 시스템은 교량의 이상현상이나 손상을 진단하고 관리주체에 경고하기 위해 설치된다. 사장교에 있어서는 그 기하학적인 형상 때문에 케이블 장력이 교량 이상징후의 중요한 지시가 될 수 있다. 만약 케이블 장력관리치가 너무 높거나 또는 너무 낮게 설정되면, 모니터링 시스템은 교량의 이상징후를 적절하게 경고하지 못할 것이다. 일반적으로, 관리치는 경험이나 공학적 판단에 의해 결정된다. 그러나 본 논문에서는 케이블 장력에 대한 확률분포모형과 신뢰성 해석에 기초한 새로운 케이블 장력관리치 설정에 대한 방법을 제시한다. 제안된 방법은 적용성 검토를 위하여 실제 콘크리트 사장교에 적용되었다.

Keywords : Cable Tension Force, Management criteria, Monitoring System, Kolmogorov-Smirnov test

핵심 용어 : 케이블 장력, 관리기준치, 모니터링 시스템, Kolmogorov-Smirnov 검정

* 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 정교수

** 일반회원, 한양대학교 토목환경공학과 박사과정

E-mail : yisc@ihanyang.ac.kr 011-728-0665

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2006년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

토목 구조물공사 특히, 터널을 비롯한 지하굴착 공사, 교량 가설공사는 그 위험성으로 인해 시공시 안전에 대한 사회적 관심이 고조되면서, 상시 계측을 통해 구조물의 시공간 구조물의 거동을 파악하고자 고가의 모니터링 시스템을 도입하여 시공간 안전성을 확보하고 있다. 또한 시공단계뿐 아니라, 유지관리단계에서도 구조물에 대한 모니터링을 수행하고 있다. 현재 서해대교, 영종대교를 비롯한 많은 장대교량에 상시 모니터링을 설치하고 교량의 이상 거동 유무를 파악하고 있다.

모니터링 시스템을 통한 구조물의 이상거동 판정은 미리 설정한 관리기준치와 구조물로부터 획득한 값을 비교함으로써 행해지게 된다. 만약, 관리기준치가 구조물 거동에 비해 과다하게 설정되어 있다면, 관리기준치에 도달하기도 전에 구조물이 파괴될 수 있으며, 반대로 낮게 설정되어 있다면, 안전한 상태에서도 관리기준치를 자주 상회함으로써 이상거동감지 기준으로서의 역할을 충분히 발휘하지 못할 것이다. 따라서 합리적인 관리기준치 설정이 중요하게 된다. 그러나, 이러한 관리기준치 설정 및 타당성에 대한 연구는 그다지 이루어지지 않고 있는 실정이다. 국내에서는 (정상국 등 1999)은 전문가 설문조사를 통해 흙막이 구조물 공사시 국내에서 적용되고 있는 관리기준치에 대한 신뢰도 분석을 수행한 바 있다.

현재 국내 여러 교량상시 모니터링 시스템에서 사용하고 있는 관리기준치는 외국의 경험에 의한 관리기준치로서, 어떤 기준 장력에 대해 얼마의 범위를 설정하여 관리기준치 값을 설정한다. 그러나 관리기준치를 상기 방식으로 설정하는 경우 관리기준치 장력값이 의미하는 바를 정확히 알 수 없다. 단지 장력이 도달하면 위험한 어떤 값이라는 것 외에는 아무런 정보도 제시하지 못한다. 또한 교량 가설 후, 시공최종단계에서 도입한 장력은 공용되면서 그 값의 경향이 변해 간다. 그러나, 현재의 관리기준치 설정방법으로는 그러한 장력의 변화경향을 반영할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 현재의 경험에 의한 일률적인 케이블장력 관리기준치 설정 방법과는 달리 모니터링

을 통해 얻어지는 시간이력 장력값의 확률분포모형을 구하고, 이를 기초로 하여 요소수준 신뢰성해석을 통해 관리기준치를 산정하는 방법을 제안함으로써, 공용에 따른 장력의 변화를 반영할 수 있도록 하였으며, 관리기준치의 물리적인 의미를 알 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안한 관리기준치 산정방법의 검정을 위해 실제 사장교의 케이블 장력값을 이용하여 관리기준치를 결정하였으며, 본 논문에서 제안한 관리기준치 결정 방법은 케이블의 장력뿐 아니라, 다른 모니터링 항목에 대해서도 적용 가능하리라 판단된다.

2. 케이블장력 산정방식

케이블의 장력을 측정하는 방법에는 장력측정장비를 이용하는 직접적인 방법과 동적데이터를 이용하는 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 로드셀을 이용하여 케이블의 장력값을 직접 측정하는 방법으로써, 측정장비가 고가이고, 유지관리의 어려움이 따르기 때문에 통상적으로 동적 가속도 데이터를 이용한 간접법에 의해 장력을 추정한다. 일반적으로 간접법은 케이블의 장력변화에 따른 진동차수와 고유진동수 변화를 이용하여 산정하는 방식으로 여러 연구자에 의해 제안되었다.(김상호 등: 1993, 손진: 1998, 윤자걸 등: 1999, 안상섭: 2000, Juan: 1994, Hiroshi: 1997, Russel: 1997) 일반적으로는 현이론법, 진동법, 진동방정식법 등이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 실제 케이블에 부착된 가속도센서로부터 획득한 가속도 자료를 이용하여 케이블 장력을 추정하였다. 현재 상태의 케이블 장력을 정확히 알지 못하므로, 위의 세 가지 방법에 의해 장력을 추정하고, 시공 최종단계에 직접 측정된 장력값과 비교하여 오차가 가장 적은 추정방법을 선정하여 관리기준치를 결정하는데 이용하였다. 케이블 장력 추정을 위한 케이블 제원은 다음 Table 1에 나타나 있다.

Table 2는 시공최종 단계에서의 측정장력과 간접법에 의한 추정치를 나타내고 있다.

시공 최종단계의 측정 장력과의 비교를 위해 다음 식(1)과 같은 MSE(Mean sizing error)를 이용하였다(Kosko 1992).

Table 1 장력추정을 위한 케이블 제원

Cable No.	단위중량 $w(\text{kg/m}^2)$	케이블길이 $l(\text{m})$	유효길이 $L_{\text{eff}}(\text{m})$	케이블의 처짐 $\delta(\text{m})$	경사각 $\theta(^{\circ})$	휨강성(구조해석치)	
						E (t/m^2)	I (m^4)
C-1	98.90	78.089	64.88	0.097	42.795	1.99×10^7	1.0×10^{-7}
C-2	104.80	92.805	79.66	0.149	51.009	1.99×10^7	1.0×10^{-7}
C-3	111.80	109.182	99.64	0.202	56.849	1.99×10^7	1.0×10^{-7}
C-4	111.80	126.550	121.58	0.288	61.167	1.99×10^7	1.0×10^{-7}
C-5	111.80	144.550	140.52	0.382	64.243	1.99×10^7	1.0×10^{-7}
C-6	111.80	144.550	140.99	0.381	64.243	1.99×10^7	1.0×10^{-7}

Table 2 케이블 장력 비교

케이블	허용 장력	최종측정 장력	현 이론법	진동법	진동 방정식법
C-1	548.9	373.3	414.4	357.6	371.2
C-2	646.5	473.0	517.5	440.1	461.5
C-3	744.1	568.2	556.3	474.8	559.9
C-4	744.1	661.4	689.2	588.2	664.3
C-5	744.1	682.4	711.8	608.1	641.4
C-6	744.1	663.0	691.1	590.8	639.9

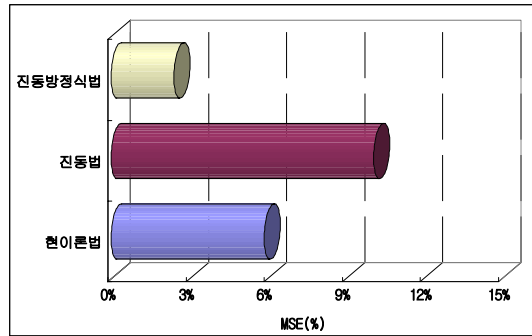


Fig. 1 장력산정법에 대한 각 방법의 MSE

$$MSE(r, p) = \frac{1}{NC} \sum_{i=1}^{NC} \left| \frac{a_i^p - a_i^r}{a_i^r} \right| \quad (1)$$

여기서 NC는 케이블의 수, a_i^p 는 i번째 케이블의 최종측정장력, a_i^r 는 i번째 케이블장력 추정식에 의한 장력이다.

Fig. 1은 각 방법에 의해 구한 장력값들의 MSE를 보여주고 있다. 최종장력값과 각각의 장력 추정방법에 의한 장력값이 모든 해석경우에 대해 정확하게 일치하는 경우 MSE 값은 0이 되며, 추정오차가 증가할수록 MSE 값은 커지게 된다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 진동방정식법으로 구한 케이블 장력값의 MSE 값이 가장 작으므로 본 논문에서는 진동방정식법에 의해 장력을 산정한 값을 이용하였다.

Table 3 케이블 장력 관리치

구 분	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	비 고	평가
기준치	377.2	476.9	577.7	666.8	688.7	657.6	$\Delta(+6\%)$	안전
주의치	399.8	505.5	612.4	706.8	730.0	697.1	$+6\% \langle \Delta \langle +12\%$	주의
경고치	422.5	534.1	647.0	746.8	771.3	736.5	$+12\% \langle \Delta$	경고

3. 케이블 장력 관리기준치 산정절차

본 절에서는 상시 모니터링을 통해 획득한 케이블 장력을 바탕으로 현재 시행되고 있는 경험치에 의한 기존 관리치 설정방법과 새롭게 본 논문에서 제안하는 관리치 설정방법을 설명한다.

3.1 기존 관리기준치

현재 사장교의 케이블 장력관리는 일반적으로 주의 값과 경고값으로 구분하여 관리하고 있으며, 본 논문에서 적용하고자 하는 콘크리트 사장교에 대한 기존의 장력 관리치는 Table 3과 같다.

기준에는 식 (2)를 이용하여 기준치에 대해 실측치가 경험적으로 6% 이상이 되면 주의경보, 그리고 12% 이상이면 경고경보를 발생한다. Table 3에서 각 케이블 장력 기준값은 시공완료 후 최종 도입 장력값이다.

$$\Delta (\%) = \left\{ \frac{\text{실측치}}{\text{기준치}} - 1 \right\} \times 100 \quad (2)$$

본 적용 교량에서 설계시 사용한 케이블의 허용장력 값은 파단장력값의 45% 수준으로 하였다. 현재의 판리치 비율은 경험적으로 결정된 것으로서, 공용 전에 케이블장력을 관리하는데 임시적으로 이용할 수는 있을 것이다. 그러나 사장교의 공용 중 케이블에 나타나는 장력은 각 케이블별로 다르고, 케이블이 경험하게 되는 장력의 범위도 케이블에 따라 상이하므로 모든 케이블에 대해 일률적인 비율로 관리기준치를 정하는 기존의 방법은 타당하지 못하다. 또한 실측 케이블 장력값이 주의치나 경고치에 도달하였을 때 위험한 수준이라는 것은 알 수 있으나, 얼마나 위험한지는 명확하게 보여주지 못한다. 따라서 본 논문에서는 공용중의 각 케이블 장력 분포를 고려한 관리기준치를 제시하였다.

3.2 장력의 확률분포 모형 결정

교량에 기 설치된 모니터링 시스템으로부터 장력의 시간이력이 얻어지면, Fig. 2와 같이 장력값을 크기순으로 나열하여 누적도수를 구한다. 이렇게 구한 누적도수 그래프에 대해 여러 확률분포모형을 가정하고 실제 장력분포에 가장 유사한 확률분포모형을 구하기 위해 확률분포모형들에 대한 검정을 실시한다. 이러한 확률분포모형에 대한 검정을 위해 가장 많이 이용되는 것으로 Chi-square 검정과 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정이 있다.

Chi-square 검정은 각 장력 구간에 대한 빈도 자료를 기초로 하여 분포모형 검정을 하는 반면에 K-S 검정은 구간에 대한 빈도를 구하지 않고 관측되는 값에 대한 누적도수만을 기초로 하여 가정한 확률분포모형을 검정한다.

사장교 케이블 장력의 경우 각 케이블에 나타나는 장력값의 범위는 각기 다르다. 케이블에 따라 어떤 경우에는 좁은 범위에 장력값이 집중되는 경우도 있고, 어떤 경우에는 장력값이 넓은 범위에 걸쳐 나타나기도 한다. 따라서 장력값을 구간별로 나누어 확률분포모형을 구하는 경우 구간간격 결정이라는 문제가 제기되며

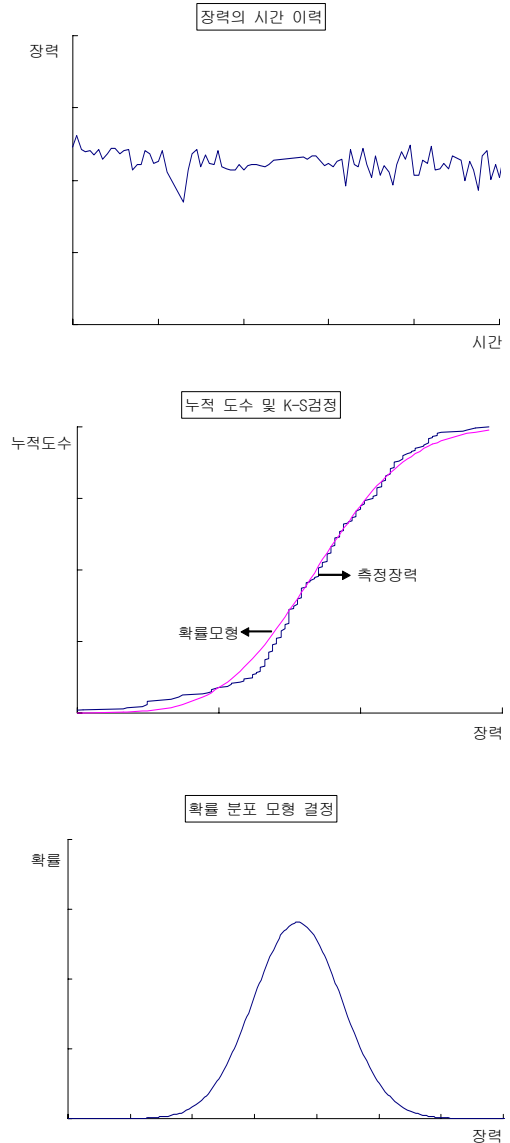


Fig. 2 장력 확률분포모형 결정

로, 본 논문에서는 구간 빈도 분포를 필요로 하지 않는 K-S 검정을 통해 장력의 확률분포 모형을 결정하였다.

3.3 신뢰성 해석을 통한 관리기준치 산정

장력에 대한 확률분포모형이 결정되면 이를 기초로 하여 요소수준 신뢰성해석을 통해 장력관리기준치를 결정할 수 있다. 장력관리기준치는 장력확률분포모형에 대해 관리신뢰성수준지표 (β)를 먼저 결정하고,

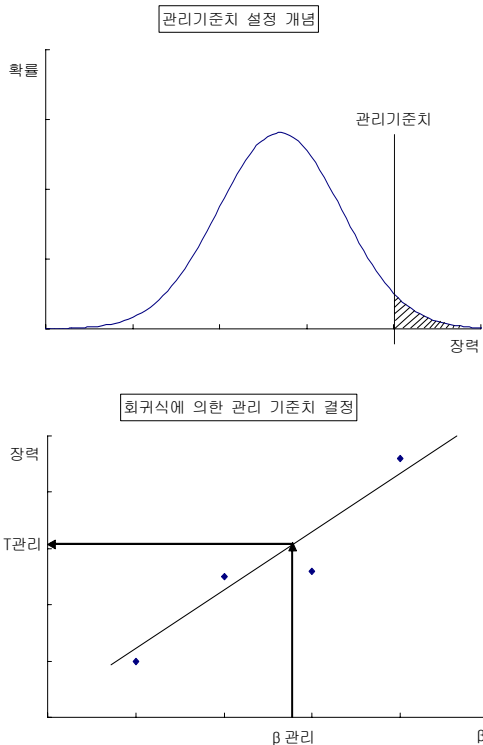


Fig. 3 신뢰성 해석에 의한 관리치 설정

결정된 신뢰성수준지표에 상응하는 장력값을 장력관리치로 삼는 것이다. 그러나, 관리신뢰성수준지표에 상응하는 장력값을 바로 구할 수 없으므로, 역으로 식 (3)과 같은 한계상태 방정식을 이용하여 몇 개의 장력값에 대한 신뢰성수준지표를 구한 후 회귀식을 추정하고, 이로부터 관리신뢰성수준지표에 해당하는 장력관리치를 구한다. Fig. 3은 이러한 절차를 나타내고 있다. 이와 같이 관리치 산정시 신뢰성수준지표를 이용함으로써, 관리기준치가 의미하는 바를 확률적으로 명확히 알 수 있으며, 관리기준치 재설정 시 필요할 때에도 신뢰성수준지표를 조정함으로써 용이하게 관리기준치를 재설정할 수 있다. 관리기준치 산정을 위한 한계상태(Limit State) 방정식은 다음 식 (3)과 같이 정하였다. 즉 측정치가 관리치를 초과하는 것을 한계상태라고 정의하였다.

$$g(\cdot) = T_{\text{관리기준}} - S \quad (3)$$

여기서, $T_{\text{관리기준}} = \text{관리기준치}$, $S = \text{측정장력 확률변수}$ 이다.

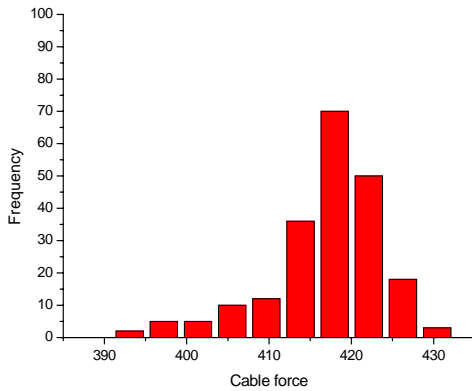
4. 적용 예

4.1 간접법에 의한 장력산정

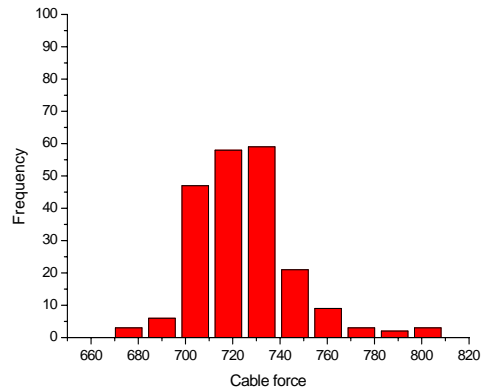
실제 사장교 케이블 장력값 산정을 위해 현장에 구축되어 있는 상시 모니터링 시스템을 통해 획득한 7개월 동안의 일축 가속도 데이터를 이용하여 진동방정식 방법으로 장력값을 구하였다. 케이블의 장력값은 오전, 오후 각각 차량의 이동이 많은 시간을 택하여 매일 같은 시간에 측정하였다. Table 4는 하루 측정장력값중

Table 4 케이블 장력 값

케이블 번호	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
1	421.6	533.7	543.7	684.5	761.4	747.2
2	414.9	524.1	561.7	709.2	775.5	780.7
...
210	395.9	501.9	614.3	694.6	702.8	699.0
211	408.7	510.5	648.4	678.7	707.9	707.5



(a) C-1



(b) C-5

Fig. 4 케이블 장력 히스토그램

최대값을 나타낸다. Fig. 4는 Table 4에 제시된 케이블 중 C-1, C-5 케이블 장력값에 대한 히스토그램이다.

4.2 장력의 확률분포 모형 선정

본 논문에서 제안한 장력 관리기준치 결정을 위해서는 케이블 장력에 대한 확률분포 모형을 결정하여야 한다. 따라서 정규분포, 대수정규분포, Type I 극치 분포 형태로 케이블의 장력 분포형태를 가정하여 적합도 검정을 실시하였다. Table 5는 케이블 장력에 대한 최대·최소값, 평균, 표준편차를 나타낸다. Table 5에서 구한 확률 모수를 이용하여 장력값에 대한 각각의 확률 분포형태를 구하였다. Fig. 5는 C-1, C-5의 케이블 장력에 대해 가정한 각각의 확률분포형태를 보여준다.

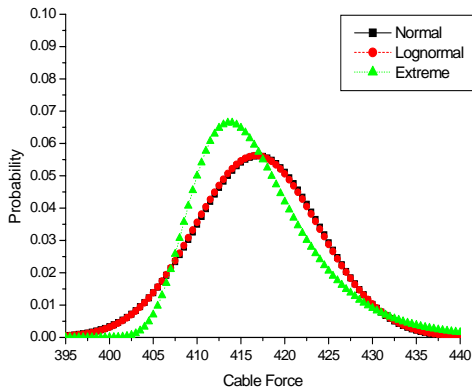
4.3 K-S 검정 및 확률분포모형 결정

가정한 각 확률분포 모형에 대한 적합도 검정을 위해 3장에서 제시한 K-S검정을 이용하였다. 적합도 검정에 이용되는 K-S검정은 Fig. 6에 보인 바와 같이 관측치의 누적도수와 가정된 확률분포함수의 누적확률을 비교하는 것이다. 모형에 대한 검정은 관측치의 누적도수와 이론적 확률분포의 누적확률의 차이의 최대치가 임의의 유의수준에 대해 정해진 차이값 (D_n^α)을 넘으면 기각된다. 이러한 K-S 검정은 관측값의 크기 n 과 유의수준 (α)에 따라 검정결과가 다를 수 있지만 여러 가지 확률분포모형에 대한 적합성을 검정하는 상대지표로 사용 가능하다.

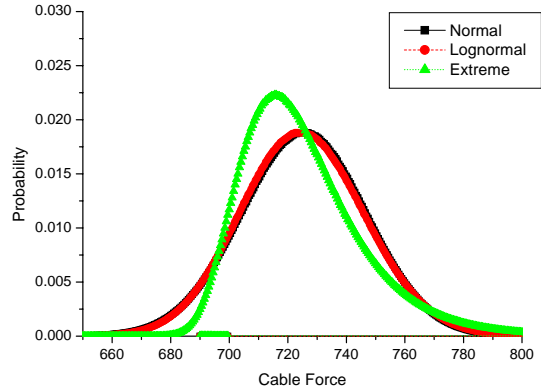
K-S 검정에 대해 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 먼저 크기 n 인 표본을 관측자료의 크기순으로 재배열한다. 이렇게 배열된 표본자료로부터 식(4)와 같이 계산상의 누적도수함수를 만든다.

Table 5 케이블 장력의 평균, 표준편차, 최대값 및 최소값

모수 \ 케이블	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
평균	416.94	524.05	558.73	714.72	728.62	725.34
표준편차	7.12	9.91	26.62	26.04	23.85	21.24
최대값	432.50	543.45	695.19	775.29	838.88	809.57
최소값	390.96	492.51	488.25	626.98	677.67	668.91



(a) C-1



(b) C-5

Fig. 5 케이블 장력 분포형태의 가정

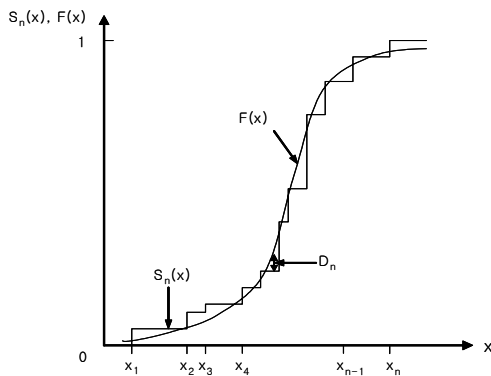


Fig. 6 누적도수와 이론분포함수 비교

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{k}{n} & x_k \leq x < x_{k+1} \\ 1 & x \geq x_n \end{cases} \quad (4)$$

여기서 x_1, x_2, \dots, x_n 은 순서대로 배열된 표본 자료의 값이며 n 은 표본크기이다. Fig. 6은 $S_n(x)$ 와 이론적 확률분포함수의 누적확률함수 $F(x)$ 에 대한 Fig.을 나타낸다. 관측치 x 의 전구간의 $S_n(x)$ 와 $F(x)$ 의 차에 대한 최대치는 이론모형과 관측자료간의 차이로서 구성하며, 다음 식 (5)과 같다.

$$D_n = \underset{x}{MAX} |F(x) - S_n(x)| \quad (5)$$

이론적으로 D_n 은 확률변수로서 그 분포는 n 에 의해 좌우된다. 주어진 유의수준 α 로서 검정코자 할 때 K-S 검정은 식 (5)에서 구한 최대 차이와 다음 식(6)으로 정의되는 한계치 D_n^α 를 비교하여 검정한다.

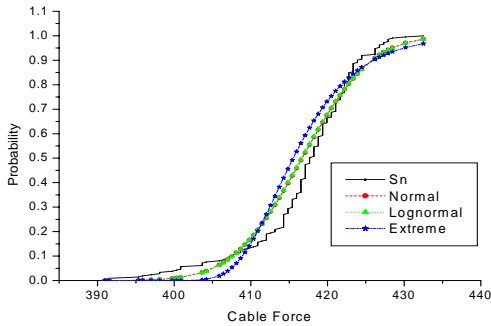
$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha \quad (6)$$

관측치 D_n 이 D_n^α 보다 작을 경우에는 제안된 이론 분포는 정해진 유의수준 α 로 받아들여지나 그렇지 못할 경우에는 기각된다.

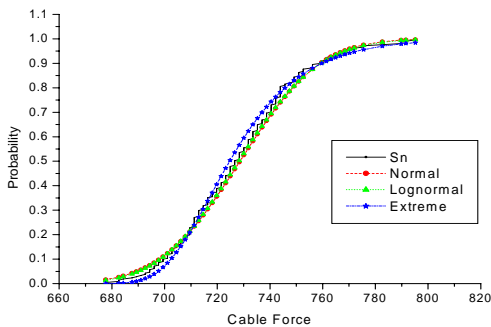
유의수준 5%로 고려할 경우 D_n^α 값은 0.0936이다. Fig. 7은 케이블 C-1와 C-5에 대한 케이블장력 누적도수와 이론확률분포의 누적확률을 비교한 Fig.이다. Table 6은 각 케이블 장력에 대한 검정 결과를 나타낸다. Table 6에서 케이블 C-1 과 C-2의 D_n 은 세 가지 확률분포에 대해 모두 $D_n^\alpha (=0.0936)$ 을 상회한다. 그러나, 나머지 케이블 장력에 대해서는 D_n^α 값보다 작으며, 세 가지 확률분포모형 중 대수정규분포의 경우가 가장 적은 값을 알 수 있다.

Table 6 각 케이블에 대한 K-S 검정결과

케이블	정규분포	대수정규분포	최대치분포
C-1	0.148601	0.151428	0.201230
C-2	0.127607	0.131375	0.198034
C-3	0.087266	0.079084	0.081427
C-4	0.072820	0.074850	0.097989
C-5	0.065709	0.062529	0.064019
C-6	0.095870	0.090746	0.092769



(a) C-1



(b) C-5

Fig. 7 장력분포의 누적도수와 누적확률 비교

따라서 신뢰성해석을 통한 관리기준치를 결정 시 케이블 장력의 분포 모형을 대수정규분포모형으로 간주한다.

4.4 신뢰성 지수를 고려한 관리치 결정

각 케이블 장력에 대해 구한 확률분포 모형을 이용

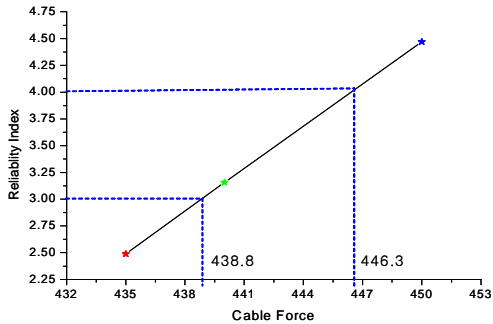
하여 관리기준치를 산정하기 위해 AFOSM 기법에 의한 신뢰성해석을 수행하였다. 장력에 대한 확률분포 모형을 이용하여 한계상태방정식(3)에 대한 신뢰성 해석으로부터 신뢰성 지수 $\beta = 3.0$ 일 때의 장력값을 주의값, 그리고 $\beta = 4.0$ 일 때의 장력값을 경고값으로 정하였다. 신뢰성 지수 β 에 대한 장력값을 바로 결정하기가 어려우므로, 역으로 식 (1)에서 $T_{\text{관리}}$ (장력 관리기준치)를 여러 값으로 가정 한 후 신뢰성해석을 수행하여 신뢰성 지수를 구하고, 이로부터 회귀방정식을 추정하여 관리신뢰성 지수에 대한 장력관리기준치를 산정 하였다.

Fig. 8은 케이블 C-1과 C-5에 대한 관리기준치 설정을 위해 수행한 회귀선을 나타낸다. $\beta = 3.0$ 일 때는 초과확률이 0.00135이고 $\beta = 4.0$ 일 때의 초과확률은 0.316E-04이다. 예를 들어, 측정치가 주의치를 상회하는 값을 보인다면, 이는 발생할 확률이 0.135%인 장력이 케이블에 나타난 것이므로 위험하다는 것을 나타낸다.

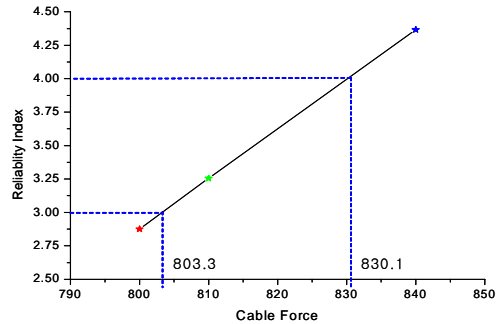
Table 7은 각 케이블에 대해 새로 결정된 장력관리치와 기존 관리치에 대한 증가량(괄호안의 숫자)을 준다. Table 7로부터, 본 논문에서 제안한 방법에 의할

Table 7 신뢰성 지수를 고려한 관리기준치

구 분	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	비 고	평가
주의값	438.8 (9%)	554.5 (9.7%)	643.8 (5.1%)	796.7 (12.7%)	803.3 (10.0%)	791.6 (13.6%)	$\beta = 3.0$	주의
경고값	446.3 (5.6%)	565.1 (5.8)	675.2 (4.4%)	826.3 (10.6%)	830.1 (7.6%)	815.1 (10.7%)	$\beta = 4.0$	경고



(a) C-1



(b) C-5

Fig. 8 신뢰성 지수를 이용한 장력관리치 산정

경우 주의값은 평균 10%, 경고값은 평균 7.5% 더 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같이 장력의 확률분포 모형에 대한 관리신뢰성지수를 결정함으로써 좀더 명확한 케이블 장력관리를 수행할 수 있으며, 관리신뢰성지수를 적절하게 조정함으로써 관리치를 쉽게 변경 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 사장교 케이블 장력관리치 설정에 있어, 어떤 기준치에 대한 경험적인 비율로 정하던 과거의 결정방식과는 달리, 케이블로부터 얻어지는 실측 장력에 대한 확률분포모형을 결정하고, 이로부터 신뢰성해석을 통하여 관리치를 설정하는 방법에 대해 제안하고, 실제 사장교로부터 획득한 케이블 장력을 이용하여 적용해 보았다. 현재까지 많이 이용되고 있는 경험적인 케이블 장력관리치는 사장교의 모든 케이블에 대해 일정한 비율을 적용한다는 점, 공용 중 케이블이 겪는 장력 이력에 대해서는 고려할 수 없다는 점, 그리고, 장력 관리기준값이 의미하는 바가 명확하지 않다는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 케이블 장력의 확률분포모형에 근거하여 신뢰성해석을 통해 신뢰성지수를 이용한 관리치를 설정함으로써, 공용 중 케이블의 장력 이력을 반영하고, 명확한 의미를 갖도록 관리치를 설정하

였다. 본 논문에서 제시한 방법에 의거해 산정한 관리기준치는 기존의 관리기준치 보다 주의값의 경우 평균 10%, 경고값의 경우 평균 7.5% 정도 더 증가한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김상효, 박준상, 이민구, 황학주, 신주환, "케이블의 장력측정에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 개요집, Vol.1993, No.1, 1993, pp. 292-295.
2. 손진, "케이블의 동적 특성을 이용한 장력측정에 관한 연구", 서울대학교 토목공학과 석사학위논문, 1998, pp. 3-19.
3. 안상섭, "상시진동 계측에 의한 사장교 케이블의 장력 산정", 한국강구조학회지, Vol.12, No.1, 2000, pp. 66-69.
4. 윤자결, 손진, 장승필, "교량 케이블의 장력 측정에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 1999, pp. 117-120.
5. 정상국, 전제성, 이송, 심태섭, "국내적용되고 있는 흙막구조물의 관리기준치에 대한 신뢰도 분석", 대한토목학회논문집, 제19권 3호, 1999, pp. 479-487.
6. Hiroshi Zui, Tohru Shinke, and Yoshino Namita, "Practical Formulas for Estimation of Cable Tension by Vibration Method", ASCE Journal of Structural Engineering, 122(6), 1997, pp. 651-656.
7. Juan R. Casas, "A combined method for measuring Cable Forces: The cable-stayed Alamillo

Bridge, Spain”, Structural Engineering International (IABSE), 1994, pp. 235-240.

8. Russel, J.C., Lardner, T.J. “Experimental Determinatiion of Frequencies and Tension for

Elastic Cables.”ASCE Journal of Engineering Mechanics, 124(10), 1997, pp. 1067-1072.

(접수일자 : 2004년 12월 8일)