

## 불확실 신뢰도 기법을 이용한 부식된 강구조물의 안전도분석

### A Safety Assessment using Imprecise Reliability for Corrosion-damaged Steel Structure

조효남\* 최현호\*\* 선종완\*\*\*

Cho, Hyo-Nam Choi, Hyun-Ho Sun, Jong-Wan

#### ABSTRACT

Since there is a large variation in measurements of the thickness of corroded elements, the thickness of corroded elements are considered as imprecise elements. There is also a considerable degree of uncertainty in a visual assessment of thickness loss. The remaining thickness of a severely corroded element may be represented by an imprecise which expresses the range over which there is uncertainty about the thickness.

Therefore, the objective of this paper is to propose a new methodology to safety assessment using imprecise reliability into conventional safety assessment frameworks. For this purpose, this study presents a safety assessment model using Imprecise reliability for large civil structures and demonstrates the applicability of the approach to cable-stayed bridge projects.

#### 1. 서 론

최근 들어 산업 발달과 기술의 증가로 교량, 지하철, 고층빌딩 등의 다수의 사회 기반시설들이 건설되고 있다. 그러나 구조물의 안전이나 유지관리를 소홀히 한 결과 최근 10년 동안 수차례에 걸쳐 교량, 지하철, 고층빌딩과 같은 거대구조물이 붕괴되고 파손됨으로서 천문학적인 경제손실과 인명손실을 가져오고 있다. 또한 생활수준이 윤택해지면서 시민들의 삶의 질에 대한 관심이 높아지고 그에 따라 좀더 안전한 삶을 영위하고 싶은 바램이 증가하고 있는 사회적 분위기를 고려할 때, 기술인의 구조물의 안전에 대한 정확한 평가는 절실히 요구된다고 할 수 있다.

교량과 같은 복잡한 구조물에는 재료적 특성, 시공방법, 환경적인 영향 등 많은 요인에 의해 내재된 불확실성을 가지고 있으므로 이러한 구조물의 안전도를 평가하는데 있어 확률을 고려한 신뢰성 이론을 사용하는 것은 필수적이라 할 수 있다. 그러나 이와 같은 신뢰성 이론을 이용하기 위해서는 불확실성을 정량적으로 평가하는 작업이 선행되어야 하나 국내외적으로 이와 같은 연구가 수행된 예는 극히 드문 실정이다. 특히 강구조물의 주요 손상요인중 하나인 부식에 관한 연구는 국내외적으로는 몇몇의 학자에 의해서만 이루어지고 있으며 수학적으로 부식의 증가를 표현할 수 있는 모델을 만드는데 중점을 두고 있다. 이러한 연구는 부식과 같은 자연현상의 불확실성을 특정상황에 적용시켜 개발된 것으로 실용적으로 사용하기 위해서는 좀 더 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 부식과 같이 불확실성이 많은 인자를 효과적으로 고려할 수 있는 불확실 신뢰도 기법을 제안하고 이를 이용하여 대상교량의 부식에 의한 강재의 단면 손실은 어느 한계 이상일 것으로 판단된다는 가

\* 정회원 한양대학교 건설환경시스템공학부 교수

\*\* 정회원 (주)승화이엔씨 다음사업본부 기술개발실 팀장, 공학박사

\*\*\* 한양대학교 토목환경공학과 박사과정

정사향과 전문가의 설문조사를 통하여 대략적인 교량의 신뢰도의 변화정도를 파악할 수 있는 불확실 신뢰성 기법을 국내 공용중인 진도대교에 적용하였으며 기존연구의 결과와 비교 고찰해 보았다.

## 2. 불확실 신뢰성 기법을 이용한 신뢰성 모형

### 2.1 불확실 확률의 개념

불확실 확률이라는 용어는 일반적으로 상·하한 확률(probability), 상·하한 예측(prevision), 가능성(possibility), 필요성(necessity), 믿음(belief) 그리고 가능성(plausibility)을 표현해주는 수학적 모델로 사용된다. 이는 베이저안 기법의 'dogma of precision'과는 다른 개념으로 불확실 확률은 사건 A의 불확실성에 대해 두개의 표현방법 즉, 상·하 확률( $P(A)$ 와  $\bar{P}(A)$ )을 갖는 특성을 지니고 있다[Kozine et. al, 2000].

대부분의 신뢰성 응용분야에서 객관적이고 신뢰성 있는 확률을 이용하여 현 상태를 신뢰성 있게 모델링 한다는 것은 관련 자료가 극히 드문 국내 현실을 감안할 때 매우 어려운 일이라 할 수 있다. 따라서 대부분의 확률 모델링에서 구간 값이나 불확실 확률의 향으로 평가할 수밖에 없는 것이 현실이다. 그리고 이와 같은 불확실 확률을 이용하면 확정적으로 상세하게 모델링하기는 불가능하지만 개략적인 해석이 가능하게 되며 해석 결과는 그 범위 안에 포함되므로 좀더 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다고 할 수 있다.

특히 복잡한 상황에 대해 의사결정을 내려야 하는 경우에 어느 대안이 더 우월한지 결정내리는 것은 매우 힘든 일이며, 문제에 대해 많은 지식이 없을 경우에는 더욱 그렇다. 정확한 확률 해석은 확정적인 결론을 얻을 수 있게 하지만 확률모수의 평가에 오류가 있을 때에는 정확한 확률해석이 불가능하다.

정량적인 체계 신뢰성의 해석은 합집합과 교집합으로 구성되는 Boolean algebra에 기초하고 있으며, 불확실 신뢰성에 대한 아래 식 (1)~(5) 등과 같은 식으로 상·하 확률을 정의하고 있다. 두개의 사건  $X, Y \subset \Omega$  이라고 한다면  $P(X), \bar{P}(X), P(Y), \bar{P}(Y)$ 는  $0 \leq P(X) \leq \bar{P}(X) \leq 1$ 와  $0 \leq P(Y) \leq \bar{P}(Y) \leq 1$ 을 만족하며,  $P(X \cup Y), P(X \cap Y), \bar{P}(X \cup Y), \bar{P}(X \cap Y)$ 으로 정의할 수 있다.

### 2.2 체계신뢰성 모형

두 개의 요소  $X, Y$ 로 구성된 시스템  $S$ 는 각각의 요소의 두 상태인  $\Omega_X = \{X, X^c\}, \Omega_Y = \{Y, Y^c\}$ 로 구성되며, 시스템  $\Omega_S = \Theta_X \times \Theta_Y = \{XY, XY^c, X^cY, X^cY^c\}$ 을 구성한다. 두개의 사건  $X, Y$ 가 논리적인 독립이라면, 아래의 식 (1)을 정의할 수 있다[Walley, 1991].

$$\begin{aligned} P_i(X \cap Y) &= \max [0, P(X) + P(Y) - 1] \\ \bar{P}_i(X \cap Y) &= \min [\bar{P}(X), \bar{P}(Y)] \\ P_i(X \cup Y) &= \max [P(X), P(Y)] \\ \bar{P}_i(X \cup Y) &= \min [1, \bar{P}(X) + \bar{P}(Y)] \end{aligned} \quad (1)$$

또한,  $n$ 개의 요소가 직렬 및 병렬로 연결되어 있으면 다음 식 (2), (3)과 같은 두 종류의 불확실 확률모형을 얻을 수 있다[Kozine et. al, 2000].

$$\begin{aligned} P_i\left(\bigcap_{i=1}^n X_i\right) &= \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{i=1}^n P(X_i) \leq n-1 \\ \sum_{i=1}^n P(X_i) - (n-1) & \text{if } \sum_{i=1}^n P(X_i) \geq n-1 \end{cases} \\ \bar{P}_i\left(\bigcap_{i=1}^n X_i\right) &= \min_{1 \leq i \leq n} [\bar{P}(X_i)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 P\left(\bigcup_{i=1}^n X_i\right) &= \max_{1 \leq i \leq n} [P(X_i)] \\
 \overline{P}\left(\bigcup_{i=1}^n X_i\right) &= \begin{cases} \sum_{i=1}^n \overline{P}(X_i) & \text{if } \sum_{i=1}^n \overline{P}(X_i) \leq 1 \\ 1 & \text{if } \sum_{i=1}^n \overline{P}(X_i) > 1 \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

상·하한 확률의 차이를 불확실성이라고 정의하면 불확실성은  $\Delta = \overline{P} - P$ 이다. 직렬, 병렬 시스템의 정상적인 거동은 다음과 같이 특성지어질 수 있다.

- ① 직렬 시스템에 대한 요소 신뢰성이 1에 가깝다면, 시스템의 하 확률 값은 시행횟수가 많아지면 0에 가까워진다.
- ② 상 확률 값이 1과 다르면 시스템의 적어도 한 요소의 상 확률 값은 1보다 작으며 시행횟수가 증가 할 수록 시스템의 하 확률 값은 0에 가까워진다.
- ③ 병렬시스템의 경우 하 확률 값이 0보다 크면 적어도 한 요소의 하 확률은 0보다 크다.

두개의 독립적인 사건  $X, Y$ 가 조건부 독립 이라면, 각각의 직렬과 병렬의 조건에 대해 다음 식 (4)와 (5)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_c\left(\bigcap_{i=1}^n X_i\right) &= \prod_{i=1}^n P(X_i) \\
 \overline{P}_c\left(\bigcap_{i=1}^n X_i\right) &= \prod_{i=1}^n \overline{P}(X_i)
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 P_c(X \cup Y) &= P(X) + P(Y) - P(X)P(Y) \\
 \overline{P}_c(X \cup Y) &= \overline{P}(X) + \overline{P}(Y) - \overline{P}(X)\overline{P}(Y)
 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (2)와 (3)을 살펴보면, 각각의 값 사이에  $P(X \cap Y) \leq P_c(X \cap Y), \overline{P}_c(X \cap Y) \leq \overline{P}(X \cap Y)$  와  $P(X \cup Y) \leq P_c(X \cup Y), \overline{P}_c(X \cup Y) \leq \overline{P}(X \cup Y)$ 의 관계식을 정의할 수 있다.

### 3. 신뢰성 해석 모델링

#### 3.1 한계상태방정식

- 사장교 케이블 요소의 한계상태방정식

사장교의 케이블요소와 같이 축력(인장력)이 지배적인 부재의 인장파괴에 대한 한계상태 방정식은 다음 식(6)과 같다.

$$g(\cdot) = P_n N_p D_F - (p_D D_n N_D + p_L L_n K N_L) \quad (6)$$

여기서,  $P_n$  = 공칭인장강도;  $D_F$  = 노후손상계수;  $N_p$  = M, F, P, D의 불확실량 중  $P_n$ 과  $D_F$ 의 추정에 관련된 불확실량을 내포하는 랜덤변량이며,  $M$  = 재료강도관련 랜덤변량;  $F$  = 제작시공 관련 랜덤변량;  $P$  = 해석과 모델링 관련 랜덤변량,  $D$  = 노후손상 추정관련 랜덤변량;  $P_{TD}, P_{TL}$  = 사하중과 활하중 각각에 의

한 인장력;  $p_D, p_L$  = 단위사하중 및 활하중에 의한 영향계수;  $D_n, L_n$  = 공칭 사하중 및 활하중 효과;  $K = K_s(1+i)$  = 응답비이며,  $K_s$  = 측정응력/계산응력  $i$  = 충격계수  $N_D, N_L = D_n, L_n$ 의 추정에 관련된 불확실량 및 실제 하중효과에 대한 편기를 조정하기 위한 각각의 랜덤변량을 나타낸다.

■ 주형 및 주탑에 대한 한계상태방정식

사장교에 있어서 주형과 주탑은 휨과 축방향력의 조합하중에 의한 영향을 무시할 수 없으므로 휨과 축력을 동시에 고려할 수 있는 조합상관식에 기초하여 안전도 및 내하력을 평가하여야 보다 합리적이다. 본 연구에서는 이 경우의 한계상태방정식을 도로교표준시방서 하중저항계수설계편[건설교통부, 1996]의 축력과 휨의 조합하중에 대한 상관식에 기초하여 다음 식(7)과 같이 실용적으로 제안하였다.

$$g(-) = 1 - \left\{ \frac{P_{CD} + P_{CL}}{P_{CR}} + C_{ML} \frac{M_D + M_L}{M_{CR} \left( 1 - \frac{P_{CD} + P_{CL}}{P_e} \right)} \right\} \quad (7)$$

여기서,  $P_{CR}, M_{CR}$  = 단면의 실좌굴강도 및 실저항모멘트,  $P_e$  = Euler 좌굴강도  $C_m$  = 등가모멘트계수  $P_{CD}, MD$  = 축력 및 모멘트에 대한 사하중 효과  $P_{CL}, ML$  = 축력 및 모멘트에 대한 활하중 효과이다.

3.2 체계신뢰성 해석모델링

정정구조계를 제외하고는 대부분의 구조계는 단 하나의 구성부재의 파괴로 인하여 완전히 붕괴되는 일은 극히 드물다. 일반적으로 사장교와 같은 고차 부정정구조물의 파괴는 구조계를 구성하는 여러 요소들의 점진적이고 축차적인 파손의 결과로 발생한다. 더구나 이러한 고차 부정정구조물은 구조 시스템의 특성상 여유성이 높으므로 교량체계의 파괴는 단 한 개의 부재나 요소의 파괴로 이루어지지 않는다. 그렇기 때문에 그러한 교량체계의 시스템파괴는 요소파괴와는 상당히 다르다. 이러한 구조계의 특징을 고려하여 본 논문에서는 광범위한 비선형구조해석을 수행하지 않는, 보다 실질적이고 효율적인 수치해석을 위해 모든 가능한 파괴경로를 전부 고려한 것이 아니라 요소신뢰성 해석을 통하여 파괴확률이 높은 몇몇 지배단면을 설정하여 각 지배단면들의 파괴로 형성되는 파괴메카니즘을 지배적인 파괴경로로 고려하였다. 다시 말하면, 시스템 파괴상태에 대한 시스템 모형화에 있어서, 사장교의 체계신뢰성 문제를 지배적인 파괴경로만을 고려한 부분 ETA(partial Event Tree Analysis)모형으로 정식화하였다[조효남, 1998].

4. 불확실 신뢰성 기법을 이용한 부식모델 및 적용에

4.1 적용대상교량

본 논문에서 제안한 불확실 신뢰성 기법을 이용한 체계 신뢰성 해석기법의 효율성과 적용성을 검토하기 위하여 국내 공용중인 진도대교에 적용하여 보았다. 진도대교는 울돌목해협을 가로질러 전남 해남과 진도를 연결하고 있는 우리나라 최초의 사장교이다. 진도대교는 폭 11.7m, 길이 484m의 강상자형 주형과 69m 높이의 강상자형 주탑 2개 그리고 68개의 locked coil type cable로 구성되어 있다. 교량은 설계활하중이 우리나라의 DB18하중에 해당하는 AASHTO의 HS-20-44하중인 2등교이다. 그림 1에 진도대교의 일반단면을 나타내었고, 표 1에는 일반사항에 대하여 정리하였다.

표 1 진도대교의 일반사항

위 치	전남 해남군 문내면 화동리-진도군 군내면 녹진리
구조형식	3경간 연속 강상자형 사장교
연 장 및 교 폭	484 m (= 70 + 344 + 70) / 11.7m
설계하중	DB-18(AASHTO HS-20-44)

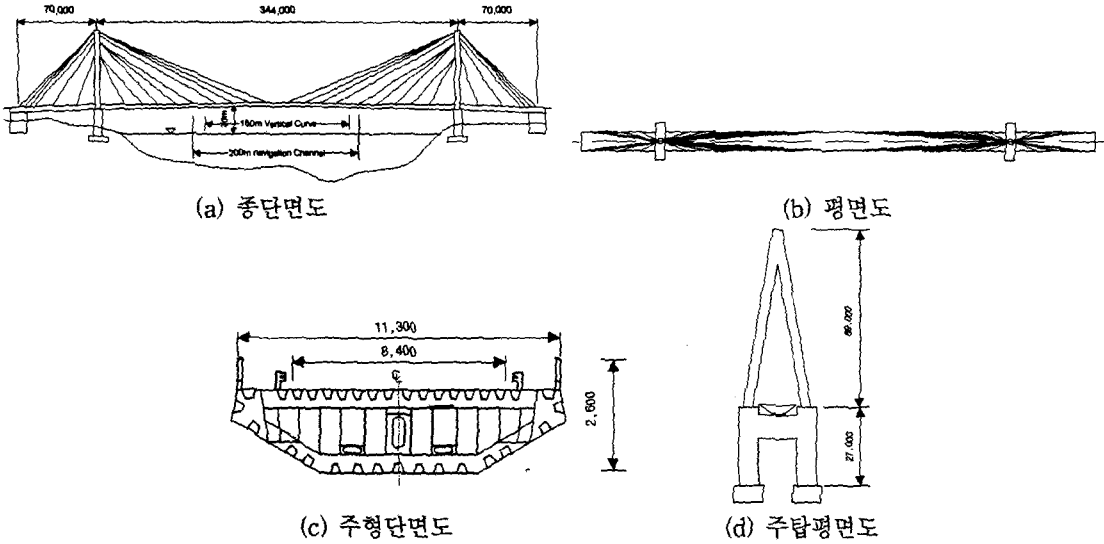


그림 1 대상교량(진도대교)의 단면제원

#### 4.2 강구조물의 부식을 고려한 신뢰성 해석모델

손상된 부재의 두께를 측정하는 작업이나, 부재 자체에 발생할 수 있는 큰 불확실성 때문에 부식된 부재의 두께는 불확실 모델로 고려할 수 있다. 이와 같은 변동성은 부식의 정도와 직접적으로 관계되며, 부식이 증가되는 정도에 따라 불확실성이 증가한다. 따라서 본 연구에서는 부식된 부재의 잔존 두께를 불확실 신뢰성 모델로 표현하기 위하여 부식정도를 나타내는 부식두께에 대해 불확실 확률의 범위로 표현하였다. 그리고 하중과 구조물의 저항은 일반적인 해석절차에 따라 불확실 변량으로 취급하였다.

##### ■ 두께손실모형

일반적으로 부식된 부재의 부식두께를 측정하거나 그 손실의 정도를 평가하는 데는 불확실성이 아주 많으며, 그 분포가 너무나 다양하기 때문에 그 부식정도를 정확하게 추산하기가 힘든 것이 사실이다. 따라서 심하게 부식된 부재를 정확하게 평가하는 것이 힘들기 때문에 본 연구에서는 기존의 부식모델(Saveswaran, 1998)에 기초한 불확실 두께손실모형을 제안하였으며 이를 바탕으로 상·하한 손실두께를 추정함으로써 불확실성의 영향을 고려하였다.

본 연구에서 제안된 불확실 두께손실모형은 다음과 같다.

$$\bar{T}_c = [\bar{T}_{ca}, \bar{T}_{cb}] \quad (8)$$

여기서  $\bar{T}_{ca}$  와  $\bar{T}_{cb}$ 는 부식에 의해 감소된 부재의 상하한 두께이다.

다양한 두께 손실 모델에서 부식된 부재의 두께는 새로운 두께의 함수로 표현되며, 플랜지 두께의 평균 퍼센트 손실은 다음과 같다.

$$\bar{T}_c = \bar{T}_N - c\xi\bar{T}_N \quad (9)$$

여기서  $\bar{T}_N$ 는 부재의 새로운 두께;  $c$ 는 상수(0.7~1.3);  $\xi = \%LT/100$ , 그리고  $\%LT$ 는 두께의 평균 퍼센트 손실이다.

본 논문에서는 다음과 같은 몇 가지 점검 결과 및 가정사항에 의해  $\xi$  값을 추정하는 실제적인 접근이 가능하도록 하였다.

1. 그림 2 C점에서 평균 두께 손실률은 점 E의 두께손실률보다 적어도 2배 이상이다.
  2. 그림 2 E점에서 두께의 평균 두께 손실률은 점A의 평균 두께 손실률보다 1.5배 덜 심각하다.
  3. 그림 2 A점에서의 평균 두께의 손실은 0.075이상이다.
  4. 그림 2 C점에서의 평균 두께 손실은 0.3이하이다.
- 이와 같은 가정은 다음과 같이 형상화 할 수 있다.

1.  $G1 = X_2 - 2X_3 \in D$
2.  $G2 = 1.5X_3 - X_1 \in D$
3.  $G3 = X_1 - 0.075 \in D$
4.  $G4 = 0.3 - X_2 \in D$

#### 4.3 구조 해석 모델링

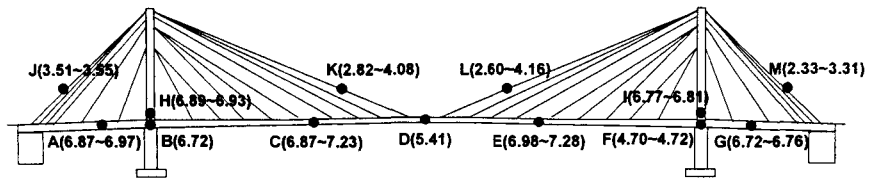
신뢰성 해석을 위한 하중효과 산정을 위한 대상 구조물의 모델링은 2차원 프레임 모델을 사용하였다. 대상교량은 AASHTO HS20-44 하중으로서 DB-/DL-18하중과 등가의 하중으로 설계된 교량이지만 현재의 교통사항을 고려하여 1등급 수준인 DL-24 하중에 대해 주로 검토하였다. 영향선 해석을 통해 선택된 단면의 최대응력이 발생할 수 있는 하중재하위치를 선정하고, 재하된 하중에 대한 단면력을 산정하였다.

#### 4.4 신뢰성 해석 결과

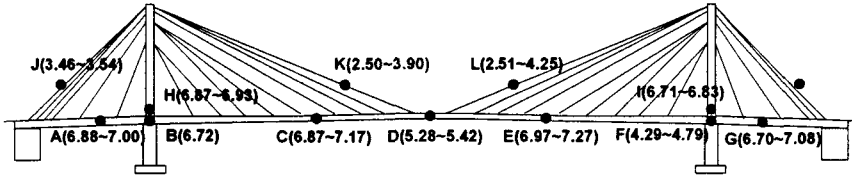
본 연구에서는 먼저 부식이 진행되지 않은 무손상 교량에 대해서 신뢰성해석을 수행하였고, 부식을 고려한 경우 앞에서 제시한 두께손실모형을 이용하여 불확실 신뢰성해석을 수행하였다. 그리고 두 가지 경우를 비교하기 위하여 해석결과를 표 2에 종합적으로 나타내었다. 표 2의 결과를 살펴보면 알 수 있듯이 부식을 고려한 경우 M부재의 신뢰도가 가장 낮게 나왔으며, 신뢰성 지수는  $\beta_e = 2.33 \sim 3.31$ 으로 나타났다.

표 2 부식을 고려한 체계신뢰성 해석 결과

위치	부식 미고려 Level 1	부식 고려 Level 1		부식 미고려 Level 2	부식고려 Level 2	
		lower	upper		lower	upper
A	6.97	6.87	6.97	6.88	7.00	6.88
B	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72
C	7.23	6.87	7.23	7.17	6.87	7.17
D	5.41	5.41	5.41	5.28	5.42	5.28
E	7.28	6.98	7.28	7.27	6.97	7.27
F	4.7	4.72	4.70	4.3	4.79	4.29
G	6.76	6.72	6.76	7.09	6.70	7.08
H	6.89	6.93	6.89	6.87	6.93	6.87
I	6.77	6.81	6.77	6.83	6.71	6.83
J	3.51	3.55	3.51	3.46	3.54	3.46
K	4.22	2.82	4.08	4.1	2.50	3.90
L	4.4	2.60	4.16	4.56	2.51	4.25
M	3.42	2.33	3.31	-	-	-



(a) 요소신뢰성 해석(Level 1)



(b) 케이블 M 파단 후 신뢰성 지수(Level 2)  
그림 2 부식을 고려한 체계신뢰성해석 결과

표 3 부식을 고려한 구조물의 체계신뢰성 해석 결과

위험단면		파괴모드	요소신뢰성지수	체계신뢰성지수
거더	중양부	Single	5.41	3.835~5.475
	지지부	Combined	4.70~4.72	
주탑		Combined	6.77~6.81	
케이블		Single	2.33~3.31	

● Governing Failure Path	Hinge at A	$P_f = 3.22E-12 \sim 1.60E-12$	$P_f = 3.22E-12 \sim 1.60E-12$
	Hinge at B	$P_f = 9.14E-12$	$P_f = 9.14E-12$
	Hinge at C	$P_f = 3.13E-12 \sim 2.51E-13$	$P_f = 3.13E-12 \sim 2.51E-13$
	Hinge at D	$P_f = 3.16E-8$	$P_f = 3.16E-8$
	Hinge at A	$P_f = 1.28E-12 \sim 3.02E-12$	$P_f = 1.28E-14 \sim 1.39E-15$
	Hinge at B	$P_f = 9.14E-12$	$P_f = 9.16E-14 \sim 4.19E-15$
	Cable fracture at J	$P_f = 2.00E-4 \sim 2.71E-4$	$P_f = 2.00E-6 \sim 1.24E-7$
	Cable fracture at K	$P_f = 6.25E-3 \sim 4.76E-5$	$P_f = 6.27E-5 \sim 2.18E-8$
	Cable fracture at L	$P_f = 6.11E-3 \sim 1.05E-5$	$P_f = 6.13E-5 \sim 4.85E-9$
	Hinge at C	$P_f = 3.16E-12 \sim 3.86E-13$	$P_f = 3.17E-14 \sim 1.77E-17$
	Cable fracture at K	$P_f = 2.40E-3 \sim 2.26E-5$	$P_f = 2.40E-3 \sim 2.26E-5$
	Cable fracture at L	$P_f = 4.71E-3 \sim 1.57E-5$	$P_f = 4.71E-3 \sim 1.57E-5$

그림 3 체계신뢰성 해석을 위한 부분 ETA 해석 결과

불확실 신뢰성 모델을 고려하여 사장교의 체계신뢰성 해석을 수행한 결과는 표 3과 같다. 표 3을 살펴보면, 부식을 고려하지 않았을 경우 구조물의 파괴확률은  $7.99E-8$ 이며, 상태평가의 결과로 발견된 부식의 정도를 불확실신뢰성모델을 이용하여 해석한 결과는  $6.27E-5 \sim 2.18E-8$ 로 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이 결과를 고려해 볼 때 불확실 신뢰성해석은 제한된 데이터나 예상하지 못한 경우에 의해 정확한 정보를 얻지 못하는 경우에 현 상태를 가장 빠르게 해결해줄 수 있는 대안이 될 수 있다. 사실 구조물의 성능에 관한 불확실의 수준은 부식과정 본연의 불확실성 때문에 점점 더 증가한다. 따라서 많은 실제적인 상황에서 정확한 데이터를 얻기는 더욱 힘들며, 데이터의 부정확으로 인해 정확한 해석을 할 수 없다. 이처럼 불확실성이 큰 정보를 취급하는 경우에 전문가의 주관적 판단과 객관적인 통계적인 판단을 같이 이용할 수 있는 불확실 신뢰성기법을 이용한다면 구조물의 안전성에 미치는 효과가 크다고 판단된다.

## 5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 논문에서는 부식과 같이 불확실성이 많은 인자를 효과적으로 고려할 수 있는 불확실 신뢰도 기법을 제안하고 이를 이용하여 대상교량의 부식에 의한 강재의 단면 손실은 어느 한계 이상일 것으로 판단된다는 가정사항과 전문가의 설문조사를 통하여 대략적인 교량의 신뢰도의 변화정도를 파악할 수 있는 불확실 신뢰성기법을 토목구조물에 적용하였다.
- 2) 제안한 기법의 적용성을 검토하기 위하여 국내 공용중인 진도대교에 적용하였으며 기존연구의 결과와 비교 고찰하였다.
- 3) 본 연구에서 제안한 불확실 신뢰성 기법을 이용하면 제한된 데이터나 예상하지 못한 경우나 정확한 정보를 얻지 못하는 경우에 현 상태를 가장 빠르게 해결해줄 수 있는 대안이 될 수 있다.
- 4) 대부분 많은 실제적인 상황에서 정확한 데이터를 얻기는 더욱 힘들며, 데이터의 부정확으로 인해 정확한 해석을 할 수 없다. 이처럼 불확실성이 큰 정보를 취급하는 경우에 전문가의 주관적 판단과 객관적인 통계적인 판단을 같이 이용할 수 있는 불확실 신뢰성기법을 이용한다면 구조물의 안전성에 미치는 효과가 크다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 도로교표준시방서 하중저항계수설계편, 건설교통부, 1996
2. 조효남, 임종권, 박경훈, 체계신뢰성방법에 기초한 강사장교의 안전도평가, 전산구조공학, 제 11권 4호, 1998
2. 최현호, “퍼지 및 불확실 신뢰도를 이용한 대형토목구조물의 위험도 및 안전도 분석방법”, 한양대학교 박사학위논문, 2004
3. I.O. Kozine, Y.V. Filimonv, Imprecise reliabilities: experiences and advances, Reliability Engineering & System Safety, Vol 67, pp 75~83, 2000
4. Lev V. Utkin,, A second-order uncertainty model for calculation of the interval system reliability, Reliability Engineering & System Safety 79, pp341~351, 2003
5. Lev V. Utkin, Sergey V. Gurov(2003), Imprecise reliability for some new lifetime distribution classes, Journal of statistical planning and inference 105, pp 215~232
6. Saveswaren, V., Smith, J. W., and Blockley, D. I., Reliability of corrosion-damaged steel structures using interval probability theory, Structural Safety, 20, pp. 237~255, 1998