

## 철골보의 정규하중분포에 따른 파손확률 평가

송창영\*

### Evaluation of the Probability of the Steel Beam to Collapse in Accordance with the Normal Distribution Load

Chang-Young Song\*

접수일자: 2014년 5월 19일/심사완료일: 2014년 6월 19일

**요약** 본 논문은 신뢰성 이론에 기초하여 철골보의 단경간 및 2경간 연속보의 파손확률을 결정하였다. 계산식에서 철골보에 가해지는 하중은 정규 분포로 가정하여 진행되었으며, 파손확률의 변화를 확인하기 위해 보의 중앙범위에 적용하는 하중을 보의 1대 1과 1대 2로 분할된 지점에 배치하였다. 보의 끝부분의 경계 결합조건 역시 연구에 포함되었다. 연구 결과 파손확률이 있는 보에 대한 결합조건 및 파손확률은 2차 분석에 따라 그 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 결론적으로 일부의 경우를 제외하고 보의 파손확률은 보 양단의 경계조건에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다.

**ABSTRACT** Based on the reliability theory, the risk assessment of steel beams is performed by the determination of failure probability. In the calculation, bending, shearing and combined (bending + shearing) modes are examined. The resistance and the loads on the beam are assumed to be normal distribution. To investigate the failure probability changes, total load applied at the mid span of beam is divided into 1 to 1 and 1 to 2 ratio and then these divided loads are placed on the trisected points on beam. The change of boundary conditions at beam ends are also included in the investigation. It shows that failure is governed by the combined mode for the present beams and the second order bound analysis of failure probability is not crucial. On the whole failure probability decreases with increasing end restraints at the beam ends with some exception.

**KEYWORDS** risk assessment, (bending, shearing, combined)mode failure, (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>) order bounds of failure probability, normal distribution

## 1. 서 론

파손(failure)은 파괴(fracture) 또는 붕괴(collapse)와 혼동해서 쓰는 경우가 가끔 있다. 구조분야에서 파손은 구조물이 원래의 목적대로 기능 발휘가 불가능 하게 된 상태를 뜻한다. 구조물에 균열발생으로 인한 현상 또는 과도한 진동으로 인한 심리적 불안감 야기 등은 파괴나 붕괴는 아니나 파손이라 할 수 있다. 물론 파손이 극한으로 되면 파괴나 붕괴에 이를 수 있다.

정량적인 위험도 평가를 가능하게 하는 것이 바로 파손 확률(failure probability)이다. 파손 확률의 크기는 구조물에 작용하는 하중 뿐 아니라 구조재료의 성질과 치수 및 배치

에 크게 좌우된다. 이들 중 재료의 성질이나 하중 특성이 통계적으로 어떤 분포상태를 취하는가도 파손 확률의 종합적 결정에 큰 영향을 미친다.

본 연구에서는 철골보의 파손 평가를 위하여 1경간 또는 2경간 철골보의 강도와 보에 작용하는 하중은 모두 정규분포(normal distribution)이라 가정하였다. 강도(즉 저항)나 하중에 의한 응력이 주어지면 보의 파손확률은 신뢰성 지수 (reliability index)값을 이용하여 결정하였다.

## 2. 신뢰성지수( $\beta$ )

구조물의 신뢰도는 사용기간동안 구조물이 한계에 도달해 기능 발휘가 불가능한 상태에 도달하지 않는 확률로 정의

\*정회원, (재)한국재난안전기술원 이사장, 공학박사  
(E-mail: song4624@hanmail.net)

할 수 있다. 확률이론에 근거한 신뢰성해석은 작용하중과 구조물의 저항이 부적확 불확실량들을 정량적으로 취급하여 설계에 포함되는 위험요소를 허용수준으로 제한할 수 있어 구조물의 안전성을 확보하는데 보다 합리적인 수단이 될 수 있다. 구조물의 파괴나 안전성의 결여는 일정한 안전율을 가지는 조건하에서도 재료나 하중의 통계적인 특성의 차이에 따라 달라지기 때문에 구조설계시 신뢰성 해석이나 설계이론을 적용한 설계법을 도입할 필요가 있다.

구조의 신뢰성 평가는 한계상태 방정식에 의한 신뢰성 지수(Reliability Index:  $\beta$ )를 얻어(failure probability: )로 나타낼 수 있다.

한계상태 방정식(limit state equation) 또는 성능함수(performance function)가 저항(R)과 응력(S)의 선형 함수일 경우, 즉  $g()=R-S$ 로 표시될 때 신뢰성지수( $\beta$ )는 간단하게 다음 식으로 계산된다.

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\sigma_R$ 과  $\sigma_S$ 는 각각 저항과 응력의 표준편차이다.

신뢰성지수  $\beta$ 가 주어지면 파손확률(failure probability)  $P_f$ 는 다음 식을 이용하여 결정한다.

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (2)$$

위 식에서  $\Phi$ 는 표준정규분포함수(standardized normal probability function)이다. 신뢰성지수로 널리 채택되고 있는 대표적 값은 다음과 같다.

내력한계(strength) 파손:  $\beta = 3.5 (P_f = 10^{-4})$

사용성한계(serviceability) 파손:  $\beta = 2.0 (P_f = 10^{-2})$

한계상태 방정식이 비선형으로 주어지면 신뢰성지수 값은 반복법(iterative method)을 이용하여 구하는데 본 논문의 경우 휨과 전단의 합성파손 mode이다. 일단  $\beta$ 값이 결정되면 파손 확률 값은 식 (2)를 이용하여 결정한다.

### 3. 양단 단순지지 경간 보

이하의 저항 및 하중 자료는 경계조건 및 하중상태의 변화에 파손확률을 산정하기 위하여 다음의 어느 경우에나 변하지 않는다고 가정하여 파손 확률을 산정하였다(저항과 하중은 정규분포).

경간,  $\bar{L}=6.0$  m,  $\sigma_L=0.0$

저항자료

( $H=390 \times 300 \times 9 \times 10 \times 16$ ,  $F_Y=24 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ )

$$\bar{M}^N = \bar{M}_R = F_Y Z / 1.5 = 288 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$\sigma_M = \sigma_{MR} = 28.8 \text{ (kN/m)} \quad (\rho_M = 0.1)$$

$$\bar{V}^N = \bar{V}_R = (F_Y / 1.5 \sqrt{3}) Aw \approx 340 \text{ (kN)}$$

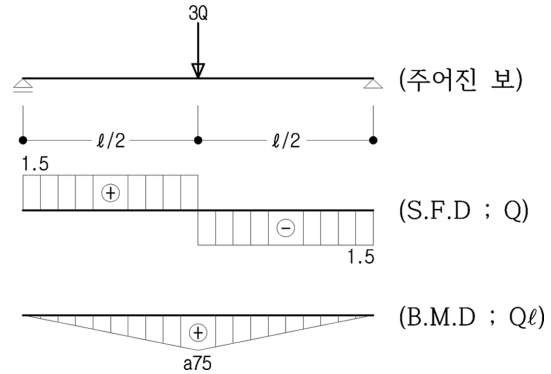
$$\sigma_V = \sigma_{VR} = 34 \text{ (kN)} \quad (\rho_V = 0.1)$$

하중자료

$$\bar{Q}^N = 45 \text{ kN}, \sigma_Q = 11.25 \text{ kN} \quad (\rho_Q = 0.25)$$

#### 3.1 type(I), 3Q 중앙 집중하중

중앙 집중하중에 따른 파손확률은 다음과 같다.



(a) 휨 파손, (mode 1)

$$g_1() = M_R - S = M - 4.5Q$$

$$\beta_b = \frac{\bar{M} - 4.5\bar{Q}}{\sqrt{\sigma_M^2 + (4.5\sigma_Q)^2}} = \frac{288 - 202.5}{\sqrt{28.8^2 + 50.625^2}} \approx 1.4680$$

$$P_{fb} = 1 - \Phi(\beta_b) \approx 71054 \times 10^{-6}, (P_f = \text{파손 확률})$$

$$l_1 = \sigma_Q \cdot \frac{\partial g}{\partial Q} = 11.25 \times (-4.5) = -50.625$$

$$l_2 = \sigma_M \cdot \frac{\partial g}{\partial M} = 28.8 \times 1 = 28.8$$

$$d = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} \approx 58.2437$$

$$\alpha_Q = l_1/d = -0.8962, \alpha_M = l_2/d = 0.4945$$

( $\alpha_Q, \alpha_M$ ; 방향여현)

(b) 전단 파손, (mode 2)

$$g_2() = V_R - S = V - 1.5Q$$

$$\beta_s = \frac{\bar{V} - 1.5\bar{Q}}{\sqrt{\sigma_V^2 + (1.5\sigma_Q)^2}} = \frac{340 - 67.5}{\sqrt{34^2 + 16.875^2}} \approx 7.1791$$

$$P_{fs} = 1 - \Phi(\beta_s) \approx 0.0$$

$$\alpha_Q = -0.4446, \alpha_V = 0.8957$$

(c) 휨과 전단의 조합, (mode 3)

$$g_3(\cdot) = 1 - Q\left(\frac{4.5}{M} + \frac{1.5}{V}\right)$$

$$g_3(\cdot) = MV - 1.5Q(M + 3V)$$

한계상태식  $g_3$ 가 비선형이므로 신뢰성지수  $\beta$ 는 반복법을 사용하여 구한다.

(Start)

$$Q^* = \bar{Q}^N = 45, \quad M^* = \bar{M}^N = 288, \quad V^* = \bar{V}^N = 340$$

$$\ell_1 = \sigma_Q \cdot \frac{\partial g_3}{\partial Q} = -1.5 \times 11.25(288 + 1020) = 2.20725 \times 10^4$$

$$\ell_2 = \sigma_M \cdot \frac{\partial g_3}{\partial M} = 28.8(340 - 1.5 \times 45) = 0.7848 \times 10^4$$

$$\ell_3 = \sigma_V \cdot \frac{\partial g_3}{\partial V} = 34(288 - 4.5 \times 45) = 0.2907 \times 10^4$$

$$d = \sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2} = 2.3606 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = \ell_1/d = 0.9350, \quad \alpha_M = \ell_2/d = 0.3325,$$

$$\alpha_V = \ell_3/d = 0.1231$$

$$Q^* = \bar{Q}^N - \alpha_Q \sigma_Q \beta = 45 + 0.935 \times 11.25\beta = 45 + 10.5187\beta$$

$$M^* = \bar{M}^N - \alpha_M \sigma_M \beta = 288 - 0.3325 \times 28.8\beta = 288 - 9.756\beta$$

$$V^* = \bar{V}^N - \alpha_V \sigma_V \beta = 340 - 0.1231 \times 34\beta = 340 - 4.1854\beta$$

$$g_3(\cdot) = 0 \Rightarrow \beta^2 - 60.63722\beta + 24.737231 = 0$$

$$\beta_C = 0.4109$$

(2nd iteration)

$$Q^* = 49.3200, \quad M^* = 248.0671, \quad V^* = 338.2810$$

$$\ell_1 = -15 \times 11.25(284.0671 + 3 \times 388.281) = -2.1919 \times 10^4$$

$$\ell_2 = 28.8(338.281 - 1.5 \times 49.32) = 0.7612 \times 10^4$$

$$\ell_3 = 34(284.0671 - 4.5 \times 49.32) = 0.2112 \times 10^4$$

$$d = \sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2} = 2.3299 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = \ell_1/d = -0.9408, \quad \alpha_M = \ell_2/d = 0.3267,$$

$$\alpha_V = \ell_3/d = 0.0906$$

$$Q^* = \bar{Q}^N - \alpha_Q \sigma_Q \beta = 45 + 0.9408 \times 11.25\beta = 45 + 10.584\beta$$

$$M^* = \bar{M}^N - \alpha_M \sigma_M \beta = 288 - 0.3267 \times 28.8\beta = 288 - 9.40896\beta$$

$$V^* = \bar{V}^N - \alpha_V \sigma_V \beta = 340 - 0.0906 \times 34\beta = 340 - 3.0804\beta$$

$$g_3(\cdot) = 0 \Rightarrow \beta^2 - 72.57786\beta + 29.624088 = 0$$

$$\beta_C = 0.4105$$

$$\beta_{c1} - \beta_{c2} = 0.4107 - 0.4105 = 0.0002 < 0.005, \quad O.K$$

$$\text{use } \beta_C = 0.4105, \quad \beta_{fc} = 1 - \Phi(\beta_C) = 340717 \times 10^{-6}$$

$$\sigma_Q = -0.9408, \quad \sigma_M = 0.3267, \quad \sigma_V = 0.0906$$

(d) 파손확률의 1차 한계

$$340717 \times 10^6 < P_f < (340717 + 71054) \times 10^{-6} \\ = 411771 \times 10^{-6}$$

2) 파손확률의 2차 한계

(a) 파손 mode간의 상관 계수

$$(\text{mode1, mode2}) \rho_{g1, g2} = (-0.8692)(-0.4446) = 0.3864$$

$$(\text{mode1, mode3}) \rho_{g1, g3}$$

$$= 0.8692 \times 0.9408 + 0.4945 \times 0.3267 = 0.9793$$

$$(\text{mode2, mode3}) \rho_{g2, g3}$$

$$= 0.4446 \times 0.9408 + 0.8957 \times 0.0906 = 0.4994$$

(b) mode간의 결합 파손 확률

• 파손 mode 1과 mode 2

$$P(A) = \Phi(-1.468)\Phi\left(-\frac{7.1791 - 1.468 \times 0.3864}{\sqrt{1 - 0.3864^2}}\right) = 0.0$$

$$P(B) = \Phi(-7.1791)\Phi\left(-\frac{1.468 - 7.1791 \times 0.3864}{\sqrt{1 - 0.3864^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_1 E_2) = 0.0$$

• 파손 mode 1과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-1.468)\Phi\left(-\frac{0.4105 - 1.468 \times 0.9793}{\sqrt{1 - 0.9793^2}}\right)$$

$$\approx 71054 \times 10^{-6}$$

$$P(B) = \Phi(-0.405)\Phi\left(-\frac{1.468 - 0.4105 \times 0.9793}{\sqrt{1 - 0.9793^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_1 E_3) = 71054 \times 10^{-6}$$

• 파손 mode 2과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-7.1791)\Phi\left(-\frac{0.4105 - 7.1791 \times 0.4994}{\sqrt{1 - 0.4994^2}}\right) = 0.0$$

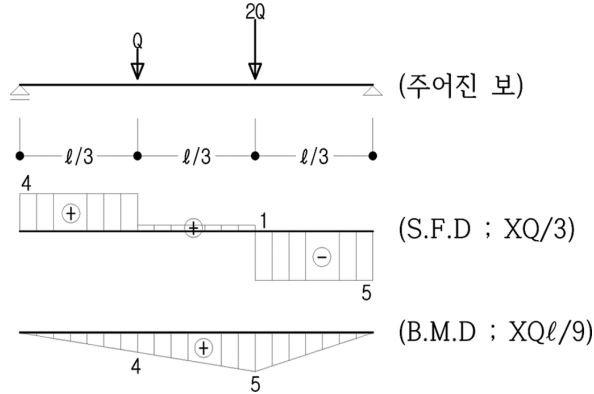
$$P(B) = \Phi(-0.4105)\Phi\left(-\frac{7.1791 - 0.4105 \times 0.4994}{\sqrt{1 - 0.4994^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_2 E_3) = 0.0$$

(c) 최종 파손 확률

$$P_f = (411711 - 71054) \times 10^{-6} = 340717 \times 10^{-6}$$

### 3.2 type(II), O+2Q 분산 하중



1) 1차 파손 확률

(a) 휨 파손, (mode 1)

$$g_1() = M_R - S = M - 10Q/3$$

$$\beta_b = \frac{288 - 450/3}{\sqrt{28.8^2 + 37.5^2}} = 2.9186$$

$$P_{fb} = 1 - \Phi(\beta_b) = 1805 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_Q = -0.7931, \alpha_M = 0.6091$$

(b) 전단 파손, (mode 2)

$$g_2() = V_R - S = V - 5Q/3$$

$$\beta_s = \frac{340 - 225/3}{\sqrt{34^2 + 18.75^2}} = 6.8250$$

$$P_{fs} = 1 - \Phi(\beta_s) \approx 0.0$$

$$\alpha_Q = -0.4829, \alpha_V = 0.8757$$

(c) 휨과 전단의 조합, (mode 3)

$$g_3() = 0.6MV - Q(M + 2V)$$

앞에서와 같이 반복법을 이용함.

(Start)

$$Q^* = \bar{Q}^N = 45, M^* = \bar{M}^N = 288, V^* = \bar{V}^N = 340$$

$$\ell_1 = \sigma_Q \cdot \frac{\partial g_3}{\partial Q} = -11.25(288 + 680) = 1.089 \times 10^4$$

$$\ell_2 = \sigma_M \cdot \frac{\partial g_3}{\partial M} = 28.8(0.6 \times 340 - 45) = 0.4579 \times 10^4$$

$$\ell_3 = \sigma_V \cdot \frac{\partial g_3}{\partial V} = 34(0.6 \times 288 - 90) = 0.2815 \times 10^4$$

$$d = \sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2} = 1.2144 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = -0.8967, \alpha_M = 0.3771, \alpha_V = 0.2318$$

$$Q^* = 45 + 10.0879\beta, M^* = 288 - 10.8605\beta,$$

$$V^* = 340 - 7.8812\beta$$

$$g_3() = 0 \Rightarrow \beta^2 - 50.78609\beta + 63.813652 = 0$$

$$\beta_c = 1.2892$$

(2nd iteration)

$$Q^* = 58.0053, M^* = 273.9986, V^* = 329.8395$$

$$\ell_1 = -1.0504 \times 10^4, \ell_2 = 0.4029 \times 10^4, \ell_3 = 0.1645 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = -0.9238, \alpha_M = \ell_2/d = 0.3543, \alpha_V = \ell_3/d = 0.1447$$

$$Q^* = 45 + 10.3935\beta, M^* = 288 - 10.2038\beta,$$

$$V^* = 340 - 4.9198\beta$$

$$g_3() = 0 \Rightarrow \beta^2 - 50.70708\beta + 63.713749 = 0$$

$$\beta_c = 1.2893$$

$$\beta_{c1} \approx \beta_{c2} \Rightarrow use \beta_c = 1.2833$$

$$P_{fe} = 1 - \Phi(\beta_c) = 98756 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_Q = -0.9238, \alpha_M = 0.3543, \alpha_V = 0.1447$$

(d) 파손 확률의 1차 한계

$$98756 \times 10^{-6} < P_f < 100561 \times 10^{-8}$$

2) 파손 확률의 2차 한계

(a) 파손 mode 간의 상관계수

(mode 1, mode 2)

$$\rho_{g_1, g_2} = 0.7931 \times 0.4829 = 0.3830$$

(mode 1, mode 3)

$$\rho_{g_1, g_3} = 0.7931 \times 0.9238 + 0.6091 \times 0.3543 = 0.9485$$

(mode 2, mode 3)

$$\rho_{g_2, g_3} = 0.4829 \times 0.9238 + 0.8757 \times 0.1447 = 0.5728$$

(b) mode간의 결합 파손 확률

• 파손 mode 1과 mode 2

$$P(A) = \Phi(-2.9186)\Phi\left(-\frac{6.825 - 2.9186 \times 0.383}{\sqrt{1 - 0.383^2}}\right) = 0.0$$

$$P(B) = \Phi(-6.825)\Phi\left(-\frac{2.9186 - 6.825 \times 0.383}{\sqrt{1 - 0.383^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_1, E_2) = 0.0$$

• 파손 mode 1과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-2.9186)\Phi\left(-\frac{1.2893 - 2.9186 \times 0.9485}{\sqrt{1 - 0.9485^2}}\right)$$

$$\cong 1805 \times 10^{-6}$$

$$P(B) = \Phi(-1.2893)\Phi\left(-\frac{2.9186 - 1.2893 \times 0.9485}{\sqrt{1 - 0.9485^2}}\right) \cong 0.0$$

$$P(E_1, E_3) = 1805 \times 10^{-6}$$

• 파손 mode 2과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-6.825)\Phi\left(-\frac{1.2893 - 6.825 \times 0.5728}{\sqrt{1 - 0.5728^2}}\right) = 0.0$$

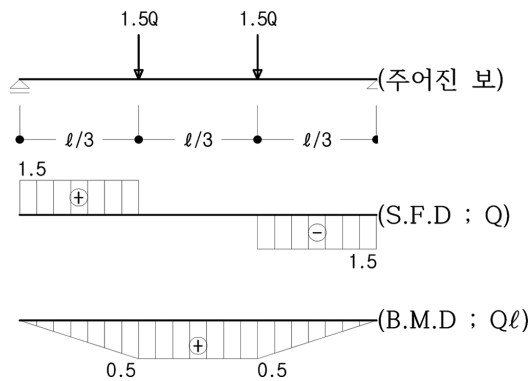
$$P(B) = \Phi(-1.2823)\Phi\left(-\frac{6.825 - 1.2893 \times 0.5728}{\sqrt{1 - 0.5728^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_2, E_3) = 0.0$$

(c) 최종 파손 확률

$$P_f = (100561 - 1805) \times 10^{-6} = 98756 \times 10^{-6}$$

### 3-3. Type(III), 1.5Q+1.5Q 분산하중



1) 1차 파손 확률

(a) 휨 파손, (mode 1)

$$g_1(\cdot) = M - 3Q$$

$$\beta_b = \frac{288 - 135}{\sqrt{28.8^2 + 33.75^2}} = 3.4485$$

$$P_{fb} = 1 - \Phi(\beta_b) = 282 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_Q = -0.7607, \alpha_M = 0.6491$$

$$g_2(\cdot) = V - 1.5Q$$

$$\beta_s = \frac{340 - 67.5}{\sqrt{34^2 + 16.875^2}} = 7.1791$$

$$P_{fs} = 1 - \Phi(\beta_s) = 0.0$$

$$\alpha_Q = -0.4446, \alpha_V = 0.8957$$

(c) 휨과 전단의 조합, (mode 3)

$$g_3(\cdot) = 1 - Q\left(\frac{3}{M} + \frac{1.5}{V}\right) \Rightarrow g_3(\cdot) = MV - 1.5Q(M + 2V)$$

(Start)

$$Q^* = \bar{Q}^N = 45, M^* = \bar{M}^N = 288, V^* = \bar{V}^N = 340$$

$$l_1 = -1.6335 \times 10^4, l_2 = 0.7848 \times 10^4, l_3 = 0.5202 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = -0.8664, \alpha_M = 0.4163, \alpha_V = 0.2759$$

$$Q^* = 45 + 9.747\beta, M^* = 288 - 11.9894\beta$$

$$V^* = 340 - 9.3806\beta$$

$$g_3(\cdot) = 0 \Rightarrow \beta^2 - 33.54640\beta + 57.965660 = 0$$

$$\beta_c = 1.8275$$

(2nd iteration)

$$Q^* = 62.8126, M^* = 266.0894, V^* = 322.8569$$

$$l_1 = -1.5387 \times 10^4, l_2 = 0.6585 \times 10^4, l_3 = 0.2640 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = -0.9081, \alpha_M = 0.3886, \alpha_V = 0.1558$$

$$Q^* = 45 + 10.2166\beta, M^* = 288 - 11.1917\beta$$

$$V^* = 340 - 5.2972\beta$$

$$g_3(\cdot) = 0 \Rightarrow \beta^2 - 47.55060\beta + 82.868277 = 0$$

$$\beta_c = 1.8118$$

(3rd iteration)

$$Q^* = 63.5104, M^* = 267.7229, V^* = 330.4025$$

$$l_1 = -1.5669 \times 10^4, l_2 = 0.6772 \times 10^4, l_3 = 0.2625 \times 10^4$$

$$\alpha_Q = -0.9073, \alpha_M = 0.3921, \alpha_V = 0.1520$$

$$Q^* = 45 + 10.2071\beta, M^* = 288 - 11.2925\beta$$

$$V^* = 340 - 5.168\beta$$

$$g_3(\cdot) = 0 \Rightarrow \beta^2 - 48.03419\beta + 83.746811 = 0$$

$$\beta_c = 1.8117$$

$$(\beta_c)_2 - (\beta_c)_3 = 0.0001 < 0.005, O.K$$

$$\text{use } \beta_c = 1.8117$$

$$P_{fc} = 1 - \Phi(\beta_c) = 35017 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_Q = -0.9073, \alpha_M = 0.3921, \alpha_V = 0.1520$$

(d) 파손 확률의 1차 한계

$$35017 \times 10^{-6} < P_f < 35299 \times 10^{-6}$$

2) 파손 확률의 2차 한계

(a) 파손 mode 간의 상관 계수

(mode 1, mode 2)

$$\rho_{g_1, g_2} = 0.7607 \times 0.4446 = 0.3382$$

(mode 1, mode 3)

$$\rho_{g_1, g_3} = 0.7607 \times 0.9073 + 0.6491 \times 0.3921 = 0.9447$$

(mode 2, mode 3)

$$\rho_{g_2, g_3} = 0.4446 \times 0.9073 + 0.8957 \times 0.152 = 0.5395$$

(b) mode간의 결합 파손 확률

• 파손 mode 1과 mode 2

$$P(A) = \Phi(-3.4485) \Phi\left(-\frac{7.1791 - 3.4485 \times 0.3382}{\sqrt{1 - 0.3382^2}}\right) = 0.0$$

$$P(B) = \Phi(-7.1791) \Phi\left(-\frac{3.4485 - 7.1791 \times 0.3382}{\sqrt{1 - 0.3382^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_1, E_2) = 0.0$$

• 파손 mode 1과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-3.4485) \Phi\left(-\frac{1.8117 - 3.4485 \times 0.9447}{\sqrt{1 - 0.9447^2}}\right) = 282 \times 10^{-6}$$

$$P(B) = \Phi(-1.8117) \Phi\left(-\frac{3.4485 - 1.8117 \times 0.9447}{\sqrt{1 - 0.9447^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_1, E_3) = 282 \times 10^{-6}$$

• 파손 mode 2과 mode 3

$$P(A) = \Phi(-7.1791) \Phi\left(-\frac{1.8117 - 7.1791 \times 0.5395}{\sqrt{1 - 0.5395^2}}\right) = 0.0$$

$$P(B) = \Phi(-1.8117) \Phi\left(-\frac{7.1791 - 1.8117 \times 0.5395}{\sqrt{1 - 0.5395^2}}\right) = 0.0$$

$$P(E_2, E_3) = 0.0$$

(c) 최종 파손 확률

$$P_f = (35299 - 282) \times 10^{-6} = 35017 \times 10^{-6}$$

#### 4. 기타의 경계조건 및 하중상태

지면 관계상 β의 결정 및 파손 확률 결정과정은 생략하고 그 결과만 다음의 표 1로 제시한다.

표 1. 경계조건 및 하중상태 변화에 따른 파손확률(=P<sub>f</sub>)

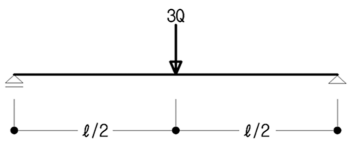
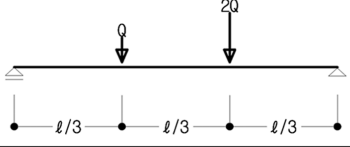
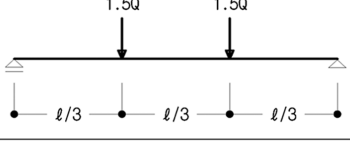
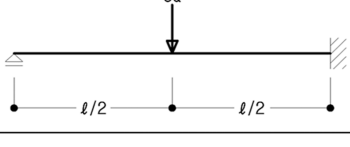
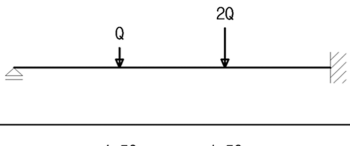
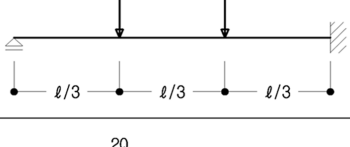
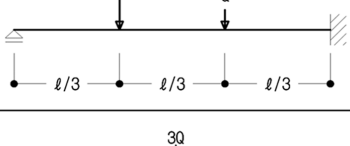
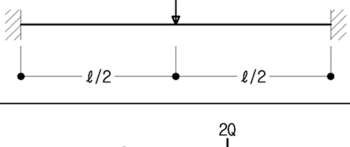
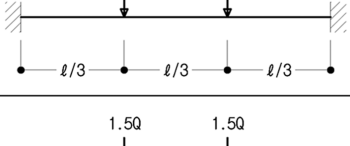
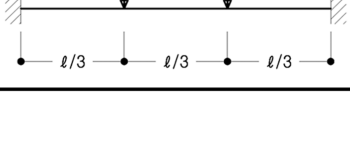
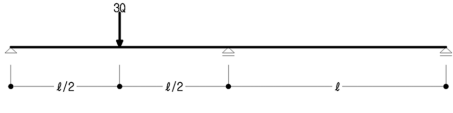
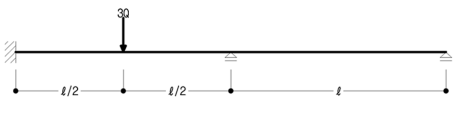
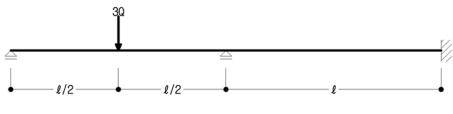
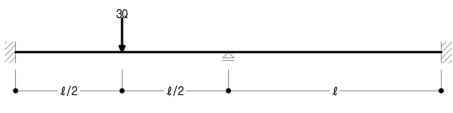
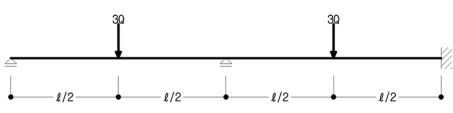
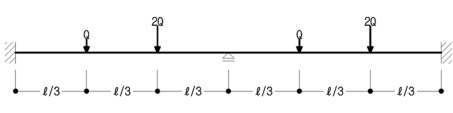
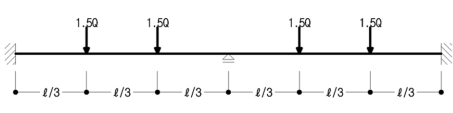
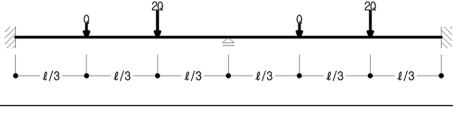
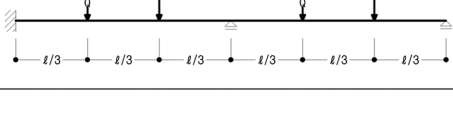
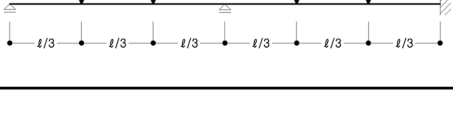
단 구간 보	P <sub>f</sub> (×10 <sup>-6</sup> )
	340717
	98756
	35017
	174771
	139050
	88655
	140
	1987
	4454
	444

표 1. (Continued)

2경간 연속 보	$P_f(\times 10^{-6})$
	185689
	140
	165259
	39066
	95287
	4454
	444
	2079
	24658
	37257

5. 결 론

철골보의 위험도 평가 자료를 얻기 위한 하나의 방법으로 신뢰성 이론을 이용하여 단 경간 및 2경간 연속보의 파손 확률을 결정하였다. 계산 진행에서 강재의 강도와 작용 하중은 통계점으로 정규 분포한다고 가정하였다. 보 양단의 경계조건과 집중하중을 분산시켜 결정한 파손 확률의 변화 경향은 대체로 다음과 같다.

1. 예측한대로 하중은 보 중앙에 집중시키는 것 보다는 분산 작용이 파손 확률을 감소시킨다. 또한 파손 확률은 보 양단의 경계 조건에도 큰 영향을 받는다.
2. 일단 고정 - 타단 단순지지, 단 경간 보에서 전체 하중 (=3Q)을 1(=Q)대2(=2Q)로 분산시켜 보 경간의 3등분 점에 작용 시킬 경우에는 큰 하중(=2Q)을 단순 지지단에 가까이 두어 바람직하다.
3. 2경간 연속보에서 한쪽 경간 중앙에 전체하중(=3Q)이 작용 할 때에는 보 양단의 경계조건에 따라 파손 확률은 큰 차이를 보인다. 따라서 철골보를 하나의 가설보(scaffolding)으로 사용할 때에는 경계 조건을 고려한 구조 해석을 실시한 후 적치 하중의 위치를 결정함이 요망된다.

참고문헌

1. 조효남, 지광습 공역 (2011), 공학확률통계, 구미서관, p.517.
2. 양영순, 서용석, 이재욱 (1999), 구조 신뢰성 공학, 서울대학교 출판부, p.248.
3. 오병완 외 (1990), 확률신뢰성 이론에 의한 구조물의 합리적 해석기법과 신뢰성 설계기준 개발, 과학기술처.
4. 박현정, 신수미 (2003), 신뢰성을 고려한 구조물의 최적설계에 관한 연구, 한국구조물진단학회, Vol. 7, No.4 p.217~224.
5. 김상효, 조형근 (1989), 구조물의 신뢰성에 관한 연구, 한국건설기술연구원 p.81.
6. Achintya Halder, Sankaran Mahadevan (2000), Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design, John Wiley & Sons, Inc, Structural Safety Vol. 23 No. 1 93p ~ 102p 0167-4730 SCI(E).
7. N. C. Lind, Reliability and Risk Analysis in Civil Engineering (1987), University of British Columbia, Vancouver.
8. H.-S, Ang, W. H. Tang (1984), Probability Concepts in Engineering Planning and Design, John Wiley & Sons, Inc.
9. Gary C, Hart (1982), Uncertainty Analysis in Structural Engi-

- neering, Prentice-Hall, Inc.
10. Michael J. Baker (1982), Structural Reliability Theory and It's Applications, Springer-Verlag.
11. Ove Ditlevsen (1979), Uncertainty Modeling, McGraw Hill
- Book co.
12. Murray R. Spiegel (1975), Probability and Statistics, McGraw Hill Book co.