

鋼道路橋의 信賴性設計規準에 관한 研究

A Study on Reliability Based Design Criteria for the Steel Highway Bridge

趙	孝	男*
Cho,	Hyo	Nam
金	禹	錫**
Kim,	Woo	Seok
李	澄	彬***
Lee,	Cheung	Bin

Abstract

This study proposes a reliability based design criteria for the steel bridge(H-beam, plate-girder and composite-beam), which is most common type of steel bridge, and also proposes the theoretical bases of nominal safety factors as well as load and resistance factors based on the reliability theory.

Major 2nd moment reliability analysis and design theories including both Cornell's MFOSM (Mean First Order 2nd Moment) Methods and Lind-Hasofer's AFOSM(Advanced First Order 2nd Moment) Methods are summarized and compared, and it has been found that Lind-Hasofer's approximate and an approximate Log-normal type reliability formula are well suited for the proposed reliability study.

A target reliability index ($\beta_0=3.5$) is selected as an optimal value considering our practice based on the calibration with the safety provisions of the current steel bridge design code.

Galambo's theory is used for the derivation of the algorithm for the evaluation of uncertainties associated with resistences by LRFD Format and SGST Format, whereas the magnitude of the uncertainties associated with load effects are chosen primarily by considering our level of practice.

It may be concluded that the proposed LRFD reliability based design provisions for the steel highway bridge give more rational design than the current standard code for steel highway bridge.

要 旨

鋼道路橋에 있어서 가장 보편적으로 使用되고 있는 鋼橋(矩形보, 鉸桁, 合成桁)에 대한 信賴性設

*正會員·陸軍士官學校 教授

**正會員·朝鮮大學校 工科大學 教授, 土木工程科

***正會員·朝鮮大學校 大學院 卒業(博士課程)

計規準을 提案하고, 또 荷重-抵抗係數 및 公稱安全率에 대한 理論的인 근거를 提示하는 것이 本 研究의 主要 內容이다.

Cornell의 MFOSM과 Lind-Hasofer의 AFOSM을 포함하는 주요 2次모멘트 信賴性 理論을 比較 分析함으로써 Lind-Hasofer의 近似式과 對數正規型 近似式을 本 研究에서 提案하는 信賴性 解析 및 設計規準의 유도에 사용함이 적절하다는 것을 알 수 있었다.

Galambo의 理論에 의해 鋼構造部材의 不確實量 算定 알리리즘을 유도하여 抵抗의 不確實量을 LRFD Format 및 SGST Format로 算定했으며, 荷重의 不確實量은 우리의 實情을 고려한 적절한 값을 택했다.

現行 鋼道路橋 設計規準에 따라 calibration 함으로써 目標信賴性指數 $\beta_0=3.5$ 를 우리의 現實을 반영하는 最適値로 선택하였다.

本 研究에서 鋼道路橋의 LRFD 信賴性 設計規準은 一定한 信賴性을 주는 보다 合理的인 設計가 됨을 알 수 있었다.

1. 序 論

鋼構造部材의 基本 耐荷力에 있어서 영향을 미치는 要因은 作用力과 軸力の 偏心の 유무, 有効細長比, 斷面係數, 降伏強度, 座屈時의 限界 휨모멘트와 降伏휨모멘트와의 比, 初期變形(처짐), 鎔接에 의한 殘留應力 등 이러한 諸般 不確實 要因이 信賴性 解析에 있어서 統計量으로 취급되어야 한다.

鋼道路橋의 信賴性設計에 使用되는 荷重으로는 長期荷重과 短期荷重이 있다. 長期荷重은 항상 鋼構造 部材에 作用하기 때문에 이것을 正確히 파악한다는 것은 安全性을 正確히 파악한다는 意味를 갖는다. 그러나 鋼道路橋의 活荷重에 대한 設計規準을 統計的으로 파악한다는 것은 가장 어렵고 重要的 分野이다. 橋梁 構造上에 作用하는 活荷重의 不確實量은 當該 橋梁上을 통과하는 車種別, 交通量의 混入率, 지체도 및 橋梁의 支間長, 耐用年數 등의 函數로 各種 活荷重의 橋梁 수명기간 중에 發生하는 最大活荷重 分布는 理論的으로는 推定確率理論⁽⁹⁾에 의해 解析되지만 실제로는 測定資料의 貧困, 또는 實態把握이나 모델링의 困難 및 복잡성 등으로 인하여 이 分野에 대한 充分한 研究結果가 없는 實情이다.

本 研究에서는 先進國의 추세에 따라 우리나라에서도 鋼道路橋에 대한 信賴性設計規準을 導

入하기 위한 本格的인 研究에 대비한 첫걸음으로서, 가장 基本的인 鋼構造部材, 즉, H形보, 鉸桁, 合成桁을 選定하여 Level-II 理論인 2次 모멘트法에 의한 信賴性解析 理論중에서 AFOSM^(1,2)을 이용한 Ellingwood의 部分對數變換 모델^(3,4)을 간소화시키고, 이로부터 Taylor 級數로 線型近似化시켜 信賴性指數를 구할 수 있는 部分對數變換近似式을 사용하였다. 또한 荷重-抵抗係數 算定法도 中央安全率과 抵抗係數에 무관하게 荷重係數만을 反復試行함으로써 荷重-抵抗係數 등을 算定할 수 있는 反復式과 近似式을 이용하였다^(2,3).

따라서 本 研究은 AASHTO의 荷重係數設計規準과 유사한 LRFD 信賴性設計規準의 導入이 적절하다는 것을 전제로 하여 AFOSM法의 近似式과 反復式을 比較檢討하고 이들 鋼構造部材의 휨과 剪斷에 적용하였다. 目標信賴性指數는 外國의 水準과 우리나라 道路橋示方書의 信賴性 水準을 統合하여 決定하고, 이에 따라 荷重-抵抗係數를 計算함으로써 우리 現實에 적합한 鋼道路橋의 信賴性設計規準을 提案하는데 研究의 目的을 두고 있다.

不確實量의 算定에 있어서 抵抗의 不確實量은 LRFD Format^(5,6,7,8) 및 SGST Format⁽¹⁷⁾을 이용했으며, 荷重效果의 不確實量은 文獻(17), (18) 등을 이용해서 우리의 設計水準과 施工技術水準 등을 고려하여 보다 安全側設計가 될 수 있는 값을 선택하여 고찰하였다.

2. 不確實量 算定

2.1 抵抗

一般的으로 抵抗 R 은 여러가지 基本變數의 函數로 되어 있고, 따라서 이들 函數를 平均에 대해 Taylor 級數展開하면 다음과 같이 各各 平均과 分散이 구해진다^(12,21).

$$E[X] = g_x(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (1)$$

$$\sigma_x^2 = \sum \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_i \sum_j \rho_{ij} \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial g}{\partial x_j} \right) \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} \quad (2)$$

여기서 ρ_{ij} 는 x_i, x_j 의 相關係數인데, MFOSM 法에서는 基本變數들이 統計的으로 서로 독립으로 보는 것이 常例이므로 $\rho_{ij} \approx 0$ 이 된다. 따라서 分散係數 Ω_{R_n} 는 다음과 같이 된다.⁽²¹⁾

$$\Omega_{R_n}^2 \approx R_n^2 \sum \left(\frac{\partial \bar{R}_n}{\partial R_i} \right)^2 \bar{R}_i^2 \sigma_{R_i}^2 \quad (3)$$

따라서 本 研究에서는 抵抗의 不確實量을 算定하기 위해 基本耐荷力の 算定式을 SGST Format⁽¹⁷⁾과 LRFD Format^(6,7,8)에서 推定 分析한 公式을 使用하여 設計係數의 平均値와 變動係數에 대하여 分析하면 다음과 같이 된다.

2.1.1 SGST Format

① H形보

휨에 대한 公稱抵抗強度 R' 는 無次元化細長比 λ 의 函數로서, λ 가 $0.2 \leq \lambda \leq \sqrt{2}$ 인 非彈性域인 경우로서 R' 는 다음과 같이 된다.

$$R' = 1.0 - 0.412(\lambda - 0.2) \quad (4)$$

$$\text{단, } \lambda = \frac{2}{\pi} K \left(\frac{L_b}{b} \right) \sqrt{\sigma_y/E}, \quad K = \sqrt{3 + A_w/A_{cf}}$$

여기서 A_w = 복부의 斷面積, A_{cf} = 壓縮 플랜지의 斷面積, b = 壓縮 플랜지의 폭, L_b = 固定點間의 距離, σ_y = 降伏應力, E = 鋼의 彈性係數

따라서 公稱抵抗 R' 의 λ, K, σ_y, E 를 確率變數로 취급하면 平均(\bar{R})과 分散(σ_R)는 다음과 같이 된다.

$$\bar{R} = 1.0 - 0.412(\bar{\lambda} - 0.2) \quad (5)$$

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right)^2 \sigma_\lambda^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right)^2 \left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial K} \right)^2 \sigma_K^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial F_y} \right)^2 \sigma_{F_y}^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial E} \right)^2 \sigma_E^2 \right] \quad (6)$$

$$\text{여기서, } \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right) = 0.412$$

$$\left(\frac{\partial \lambda}{\partial K} \right) = \frac{2}{\pi} \left(\frac{L_b}{b} \right) \sqrt{\sigma_y/E}$$

$$\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma_y} \right) = \frac{2}{\pi} K \left(\frac{L_b}{b} \right) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_y}{E} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{E}$$

$$\left(\frac{\partial \lambda}{\partial E} \right) = \frac{2}{\pi} K \left(\frac{L_b}{b} \right) \cdot \frac{1}{2}$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{E} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(-\frac{\sigma_y}{E} \right)^2$$

그리고 變動係數(Ω_R)는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Omega_R^2 &\approx \frac{1}{\bar{R}^2} [\sigma_R]^2 \\ &= \frac{1}{(0.412)^2 [1.0 - 0.412(\bar{\lambda} - 0.2)]^2} \\ &\quad \left[\Omega_K^2 + \frac{1}{4} (\Omega_{\sigma_y}^2 + \Omega_E^2) \right] \quad (7) \end{aligned}$$

이 때 L_b, b 의 不確實量 Ω_{L_b}, Ω_b 는 작으므로 무시했으며, 이는 모델편기로서 補完하는 것이 一般的이다⁽²¹⁾. 또한 剪斷에 대한 不確實量도 힘의 경우와 같이 구할 수 있다.

② 鉋桁(휨)

휨에 대한 公稱抵抗 R' 는 단순히 복부의 鉋要素만의 力學的 거동을 檢討하는 것으로 불충분하며, Baseler 등이 提示한 力學的 메카니즘에 注目한 모델 解析이로 Hasegawa 는 R' 를 다음과 같이 解析하였다⁽¹⁷⁾.

$$R' = (1.0 - 0.25\lambda^2) \cdot \frac{1 + q\rho}{1 + \rho/b} \cdot \frac{y^*}{h} \quad (8)$$

$$\text{여기서 } g = \left(\frac{-4\rho + 42}{29.58} \right) g_y / (h/t),$$

$$g_y = \sqrt{E/\sigma_y}, \rho = \frac{A_w}{A_{cf}}$$

$$y^*/h = \{1/(8.9\rho + 9.79)\} + 0.92$$

$$\lambda = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{g_y} \cdot \frac{L_b}{r}, \quad \frac{L_b}{r} = 1.3(a/h)^2 \sqrt{g^4 \rho}$$

따라서 r, λ, q 를 確率變數로 취급하면 \bar{R}, σ_R 는

$$\bar{R}' = (1.0 - 0.25\bar{\lambda}^2) \cdot \frac{1 + \bar{q}\rho}{1 + \rho/6} \cdot \frac{y^*}{h} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma_R^2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right)^2 \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial q} \right)^2 \sigma_q^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right)^2 \\ &\quad \left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial g_y} \right)^2 \sigma_{g_y}^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial r} \right)^2 \sigma_r^2 \right] + \left(\frac{\partial R}{\partial q} \right)^2 \left[\left(\frac{\partial g}{\partial g_y} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. \left[\left(\frac{\partial g_y}{\partial E} \right)^2 \sigma_E^2 + \left(\frac{\partial g_y}{\partial \sigma_y} \right)^2 \sigma_{\sigma_y}^2 \right] \right] \quad (10) \end{aligned}$$

$$\text{여기서, } \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \right) = \frac{1 + \bar{q}\rho}{1 + \rho/6} \cdot \frac{y^*}{h} \cdot (-0.5\lambda)$$

$$\left(\frac{\partial R}{\partial q} \right) = (1.0 - 0.25\bar{\lambda}^2) \cdot \left(\frac{\rho}{1 + \rho/6} \right) \cdot \frac{y^*}{h}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial E}\right) &= \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{E}}{\bar{\sigma}_y}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\sigma_y}, \\ \left(\frac{\partial g_y}{\partial \sigma_y}\right) &= \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{E}}{\bar{\sigma}_y}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(-\frac{\bar{E}}{\bar{\sigma}_y^2}\right), \\ \left(\frac{\partial \lambda_y}{\partial g_y}\right) &= \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_b}{r} \cdot \left(-\frac{1}{g_y^2}\right), \\ \left(\frac{\partial \lambda}{\partial r}\right) &= \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{g_y} \cdot \left(-\frac{1}{r^2}\right), \\ \left(\frac{\partial q}{\partial g_y}\right) &= \left(\frac{-4\rho+42}{29.58}\right) / (h/t) \end{aligned}$$

따라서 Ω_R^2 은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Omega_R^2 &= \frac{1}{(1.0-0.25\bar{\lambda}^2)^2} (-0.5\bar{\lambda})^2 \\ &\left[\frac{1}{4} (\Omega\sigma_y^2 + \Omega E^2) + \Omega \nu^2 \right] + \frac{\rho^2}{(1+\bar{q}\rho)^2} \cdot \\ &\bar{q}^2 \Omega_q^2 \left[\left(\frac{-4\rho+42}{29.58}\right) (h/t) \right]^2 \cdot \\ &\left[\frac{1}{4} (\Omega\sigma_y^2 + \Omega E^2) \right] \quad (11) \end{aligned}$$

③ 鉸桁(剪斷)

북부의 座屈後의 部分張力作用을 고려한 最小 2 乘法에 의해 回歸分析한 結果로 얻어진 實驗式으로 分析하면, R' 는

$$R' = 1.507/\lambda \quad (12)$$

여기서, $\lambda = \frac{h}{t} \sqrt{\tau_y/E} \frac{12(-\nu^2)}{\pi^2 k_s}$, $\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$

$$k_s = \begin{cases} 5.34 + 4/\alpha^2 (\alpha \geq 1.0) \\ 4.0 + 5.34/\alpha^2 (\alpha < 1.0) \end{cases}$$

단, $\alpha = a/h$ 이다.

따라서 τ_y, E, ν 를 確率變數로 취하면, \bar{R}, σ_R , Ω_R 는 각각 다음과 같이 된다.

$$\bar{R} = 1.507/\bar{\lambda} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sigma_R^2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right)^2 \sigma_\lambda^2 \\ &= \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right)^2 \left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \tau_y}\right)^2 \sigma_{\tau_y}^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial E}\right)^2 \sigma_E^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \nu}\right)^2 \sigma_{\nu^2}^2 \right] \quad (14) \end{aligned}$$

여기서, $\left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right) = \frac{1}{\lambda^2}$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \tau_y}\right) &= \left(\frac{h}{t}\right) \cdot \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_s}} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\tau_y}{E}\right)^{-\frac{1}{2}} \\ &\cdot \left(\frac{1}{E}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial E}\right) &= \left(\frac{h}{t}\right) \cdot \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_s}} \cdot \frac{1}{2} \\ &\cdot \left(\frac{\tau_y}{E}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{-\tau_y}{E^2}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \nu}\right) &= \left(\frac{h}{t}\right) \cdot \sqrt{\tau_y/E} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_s \pi^2}{12(1-\nu^2)}} \cdot \\ &\frac{-24\nu}{k_s \pi^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Omega_R^2 &= \frac{\bar{\lambda}^6}{(1.507)^2} \left[\frac{1}{4} (\Omega\tau_y^2 + \Omega E^2) \right. \\ &\left. + \frac{\bar{\tau}^4}{(1-\bar{\tau}^2)} \Omega \nu^2 \right] \quad (15) \end{aligned}$$

2.1.2 LRFD Format

① H形보

文獻(6)에서 軀部材에 대한 鋼보의 R' 로 軀部 멘트(M_u)를 使用하였는데, 이 때 보는 非支持 長, 壓縮플랜지와 북부의 細長比에 따라 左右된다. 따라서 R' 는 非彈性感으로 다음과 같이 된다.

$$R' = M_p - (M_p - M_r)\lambda \quad (16)$$

여기서 M_p =塑性모멘트, M_r =殘留應力の 影響을 포함한 降伏모멘트

$$\text{단, } \lambda = \frac{\lambda_b - \lambda_{br}}{\lambda_{br} - \lambda_{bp}}$$

λ 를 確率變數로 취하면 $\bar{R}, \sigma_R, \Omega_R$ 는 다음과 같이 된다.

$$\bar{R} = \bar{M}_p - (\bar{M}_p - \bar{M}_r)\bar{\lambda} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sigma_R^2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial M_p}\right)^2 \sigma_{M_p}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial M_r}\right)^2 \sigma_{M_r}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right)^2 \sigma_\lambda^2 \\ &= \left(\frac{\partial R}{\partial M_p}\right)^2 \sigma_{M_p}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial M_r}\right)^2 \sigma_{M_r}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right)^2 \\ &\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_b}\right)^2 \sigma_{\lambda_b}^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_{br}}\right)^2 \sigma_{\lambda_{br}}^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_{bp}}\right)^2 \sigma_{\lambda_{bp}}^2 \right] \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } \left(\frac{\partial R}{\partial M_p}\right) &= 1 - \bar{\lambda}, \quad \left(\frac{\partial R}{\partial M_r}\right) = -\bar{\lambda}, \quad \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right) \\ &= (\bar{M}_p - \bar{M}_r), \quad \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_b}\right) = \frac{1}{(\lambda_{br} - \lambda_{bp})}, \quad \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_{br}}\right) \\ &= \frac{\lambda_b - \lambda_{br}}{(\lambda_{br} - \lambda_{bp})^2}, \quad \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_{bp}}\right) = -\frac{\lambda_b - \lambda_{bp}}{(\lambda_{br} - \lambda_{bp})^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Omega_R^2 &= (1-\bar{\lambda})^2 \bar{M}_p^2 \Omega_{M_p}^2 + \bar{\lambda}^2 \bar{M}_r^2 \Omega_{M_r}^2 + (\bar{M}_p - \bar{M}_r)^2 \\ &\cdot \left[\frac{\bar{\lambda}_b^2 \Omega_{\lambda_b}^2}{(\lambda_b - \lambda_{bp})^2} + \frac{(\lambda_b - \lambda_{br})^2}{(\lambda_{br} - \lambda_{bp})^2 (\lambda_b - \lambda_{br})^2} \right. \\ &\cdot \lambda_{bp}^2 \Omega_{\lambda_{bp}}^2 + \frac{1}{(\lambda_b - \lambda_{br})^2} \lambda_{br}^2 \Omega_{\lambda_{br}}^2 / \bar{M}_u^2 \quad (19) \end{aligned}$$

단, $\bar{M}_u = \bar{M}_p - (\bar{M}_p - \bar{M}_r)\bar{\lambda}$ 임

② 鉸桁

鉸桁 역시 H形보와 같은 軀部材로서 文獻(7)에서와 같이 σ_c (입계應力), S_x (彈性感斷面係數), R_{pc} (鉸桁의 모멘트 減少係數)로부터 解析하면

公稱抵抗 R' 는

$$R' = \sigma_{cr} \cdot S_x \cdot R_{pg} \quad (20.a)$$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 EC_b / (L_b/r)^2 \quad (20.b)$$

여기서 C_b = 等價彎모멘트係數, $L_b/r = \lambda$ 이다. 따라서 平均 및 分散은 다음과 같이 된다.

$$\bar{R} = \bar{\sigma}_{cr} \cdot \bar{S}_x \cdot \bar{R}_{pg} \quad (21)$$

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial \sigma_{cr}} \right)^2 \sigma_{\sigma_{cr}}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial S_x} \right)^2 \sigma_{S_x}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_{pg}} \right)^2 \sigma_{R_{pg}}^2 \quad (22)$$

그러므로 Ω_R^2 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Omega_R^2 = \frac{1}{\bar{\sigma}_{cr}^2} [4(\Omega_{\sigma_{cr}}^2 + \Omega_E^2)] + \Omega_{S_x}^2 + \Omega_{R_{pg}}^2 \quad (23)$$

③ 合成桁

文獻(8)에서와 같이 最大 彎強度는 中立軸의 位置에 따라 달라지는데, 여기서는 中立軸이 콘크리트 슬라브內에 있는 경우에 대해서만 公稱抵抗 R' 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R' = A_s \sigma_y \left[t_s - \frac{a}{2} + \frac{t_{if} + d_w + t_{bf}}{2} \right] \quad (24)$$

여기서, $a = A_s \sigma_y / 0.85 \sigma_{ck} b$

따라서 $A_s, \sigma_y, \sigma_{ck}, b$ 를 確率變數로 취하면 $\bar{R}, \sigma_R, \Omega_R$ 은 각각 다음과 같이 된다.

$$\bar{R} = \bar{A}_s \bar{\sigma}_y \left[t_s - \frac{\bar{a}}{2} + \frac{t_{if} + d_w + t_{bf}}{2} \right] \quad (25)$$

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial A_s} \right)^2 \sigma_{A_s}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \sigma_y} \right)^2 \sigma_{\sigma_y}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial a} \right)^2 \sigma_a^2$$

$$\left[\left(\frac{\partial a}{\partial \sigma_{ck}} \right)^2 \sigma_{\sigma_{ck}}^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial b} \right)^2 \sigma_b^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial A_s} \right)^2 \sigma_{A_s}^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial \sigma_y} \right)^2 \sigma_{\sigma_y}^2 \right] \quad (26)$$

$$\Omega_R^2 = \Omega_{A_s}^2 + \Omega_{\sigma_y}^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{d^2} [\Omega_{\sigma_{ck}}^2 + \Omega_b^2 + \Omega_{A_s}^2 + \Omega_{\sigma_y}^2] \quad (27)$$

여기서, $t_{if} = t_{ib}$ 인 경우에

$$d = t_s - \frac{\bar{a}}{2} + \frac{t_{if} + d_w + t_{bf}}{2} \text{ 로 된다.}$$

2.2. 荷重效果

荷重效果의 不確實量 計算方法은 基本確率變數의 組合을 利用하는 方法⁽¹²⁾과 部分荷重의 荷重效果組合을 利用하는 方法이 있는데^(3,23) 本研究에서는 Ellingwood의 部分荷重의 組合을 利用하면 다음과 같이 된다⁽²²⁾.

$$S = S_D + S_{L+I} \quad (28.a)$$

$$\bar{S} = \bar{S}_D + \bar{S}_{L+I} \quad (28.b)$$

$$\Omega_S = \sqrt{\Omega_{SD}^2 \bar{S}_D^2 + \Omega_{SL+I}^2 / \bar{S}_{L+I}^2} \quad (28.c)$$

여기서, $\bar{S}_D = \bar{E} \bar{C}_D \bar{D}$

$$S_{L+I} = \bar{E} \bar{C}_D (L+I)$$

따라서 死荷重係數 및 活荷重係數의 變動係數를 각각 Ω_{SD}, Ω_{SL} 라 하면 다음과 같이 된다.

$$\Omega_{SD} = \sqrt{\Omega_E^2 + \Omega_{CD}^2 + \Omega_D^2} \quad (29.a)$$

$$\Omega_{SL} = \sqrt{\Omega_E^2 + \Omega_{CD}^2 + \Omega_{L+I}^2} \quad (29.b)$$

3. 信賴性解析 및 設計標準

3.1. 信賴性 解析

3.1.1 γ_s 의 反復法

AFOSM를 利用하여 標準化 空間의 原點에서 限界狀態面까지의 最小距離로서 좀더 正確한 값을 얻을 수 있는 技法으로서 部分荷重效果를 全體荷重效果로 취하여 變換시키면 다음과 같이 된다⁽²³⁾.

$$\phi n_0 = \gamma_s \text{ (또는 } \phi = \gamma_s / n_0) \quad (30)$$

$$\text{여기서 } \phi = \exp(-\alpha_R \beta \Omega_R) \quad (31.a)$$

$$\gamma_s = 1 + \alpha_s \beta \Omega_s \quad (31.b)$$

이 때, 破壞點에서의 單位勾配벡터 α_i 는

$$\alpha_R = \frac{\phi n_0 \Omega_R}{\sqrt{\phi^2 n_0^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} = \frac{\gamma_s \Omega_R}{\sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (32.a)$$

$$\alpha_s = \frac{\Omega_s}{\sqrt{\phi^2 n_0^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} = \frac{\Omega_s}{\sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (32.b)$$

여기서 $\Omega_s = \sqrt{\Omega_{SD}^2 + \rho^2 \Omega_{SL}^2 / (1 + \rho)}$ 이다.

따라서 信賴性指數 β 에 대한 數值解는 Newton-Raphson法을 使用한 反復試行알고리즘으로 나타내면 다음과 같다.

Step 1: ρ, Ω_i, n_0 가 주어지면 近似的으로 ϕ, γ_i 를 假定하여 式(32)으로 부터 α_i 를 구하여 式(31)을 式(30)에 代입한 다음 式(30)으로부터 β 計算

Step 2: 이 β 를 式(31)에 代입 ϕ, γ_i 를 求한 다음 式(22)으로 부터 α_i 計算

Step 3: 前 사이클의 α_i, β 值를 現 사이클의 값과 比較한 후에 수렴할 때까지 反復試行

3.1.2. γ_s 의 近似法

式(30), (31), (32)를 다음과 같이 變形시키면 복잡한 反復試行을 행하지 않고서도 近似的으로 β 를 구할 수 있다⁽²³⁾. 式(32.b)를 式(31.b)에 代

이하에 γ_s 에 관하여 정리하면,

$$\beta = \frac{\gamma_s - 1}{\Omega_s^2} \sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2} \quad (33)$$

이 되어 γ_s 의 函數로 된다. 한편 式(30)~式(32)로부터 γ_s 의 2次項까지 정리하면,

$$k\gamma_s^2 - k\gamma_s - \ln\gamma_s - \ln n_0 = 0 \quad (34)$$

$$\text{여기서 } k = \Omega_R^2 / \Omega_s^2$$

式(34)의 $\ln\gamma_s$ 를 Taylor 級數로 2次項까지 線型近似化시켜 γ_s 에 관하여 整理하면 γ_s 는 다음 式으로부터 구할 수 있다.

$$\gamma_s = m + \sqrt{m^2 + c} \quad (35)$$

$$\text{여기서, } m = \frac{k - (2b+1)}{2(k-b)}$$

$$c = \frac{\ln n_0 + b + 1}{k - b}$$

단, ($b \neq k$ 임)

式(35)로 γ_s 를 구하여 式(33)에 代入하면 近似的으로 β 를 구할 수 있다. 이 때 $b \approx 0.4$ 이다.

3.2. 信頼性 設計規準

3.2.1. γ_s 의 反復法

前節 3.1에서 詳述한 AFOSM 法, 즉 Lind-Hasofer의 不變 2次모멘트法에 의해 式(32.b)를 式(31.b)에 代入하여 다음과 같이 單純化시킬 수 있다.

$$\gamma_s = 1 + \frac{\Omega_s^2 \beta_0}{\sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (36)$$

따라서 γ_s 를 적당히 가정하여 式(36)만을 反復시킴으로써 ϕ, γ_i 는 다음 式으로부터 얻을 수 있다.

$$\phi = \exp\left(-\frac{\gamma_s \Omega_R^2 \beta_0}{\sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}}\right) \quad (37.a)$$

$$\gamma_D = 1 + \frac{\Omega_{SD}^2 \beta_0}{(1+\rho) \sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (37.b)$$

$$\gamma_L = 1 + \frac{\rho \Omega_{SL}^2 \beta_0}{(1+\rho) \sqrt{\gamma_s^2 \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (37.c)$$

따라서 式(36)에 의한 反復試行으로 ϕ, γ_i 를 구하는 數值解는 Newton-Raphson 法을 使用한 反復試行알고리즘으로 나타내면 다음과 같다.

Step 1: ρ, Ω_i, β_0 가 주어지면 ϕ, γ_i 를 近似的으로 假定하여 γ_s 를 計數(式(36)利用)한 다음 假定値와 比較하여 수렴할 때까지 反復試行

Step 2: ϕ, γ_i 計算(式(37)利用)

3.2.2. γ_s 의 近似法

部分對數標準化 變換으로서 式(36)을 다음과 같이 變形하여 近似的으로 γ_s 를 얻을 수 있다.

$$\gamma_s = 1 + \frac{\Omega_s^2 \beta_0}{\sqrt{\lambda \Omega_R^2 + \Omega_s^2}} \quad (38)$$

式(38)로부터 γ_s 를 구하여 式(37)에 代入하면 近似的으로 ϕ, γ_i 를 求할 수 있다. 이 때, $\lambda = 1.8$ 정도가 最少誤差를 주는 값이다.

4. 計算 및 考察

4.1. 不確實量

4.1.1. 抵抗

抵抗에 대한 H形보, 鉸桁, 合成桁斷面의 平均-公稱比 및 變動係數는 2.1에서 提示한 公式를 使用하여 Galambos-Ravindra⁽⁶⁾, 文獻(17), 그리고 우리 나라 浦項製鐵의 一部 資料에 의해 計算함으로써 表 1, 2와 같은 結果를 얻었다.

表 1. 基本變數의 統計値

區分	應力		引張應力 (σ_w)	
	平均/公稱	變動係數	平均/公稱	變動係數
Galambos-Ravindra	1.10	0.10	1.10	0.07
文獻·17	1.15	0.11	0.08	0.07
浦項製鐵	1.05 ~1.52	0.05 ~0.14	1.045 ~1.195	0.031 ~0.06

表 1의 結果에서 보는 바와 같이 鋼構造部材

表 2. 抵抗의 不確實量

Format	部材 耐荷力 Ω_i	H 形 보				板 桁				合 成 桁	
		휨		剪 斷		휨		剪 斷		휨	
		\bar{R}/R'	Ω_p	\bar{V}/V'	Ω_v	\bar{R}/R'	Ω_R	\bar{V}/V'	Ω_v	\bar{R}/R'	Ω_R
SGST		1.56	1.180	—	—	1.20	0.140	1.22	0.17	—	—
LGFD		1.27	0.158	1.20	0.157	1.24	0.150	1.24	0.17	1.22	0.17

의 平均-公稱比와 變動係數는 外國의 경우보다 약간 높게 되어 있으나 큰 差異는 없다고 보아 安全側으로 $\sigma_y/F_y=1.20$, $\Omega_{\sigma_y}=0.12$, $\sigma_u/F_u=1.11$, $\Omega_{\sigma_u}=0.06$ 정도로 선택함이 바람직하며 이 값으로 Galambos-Ravindra와 文獻 (17)이 提案한 算定式에 의해 計算한 結果가 表 2이다. 이 때 前節 2.1에서 提示한 \bar{P}, Ω_p 를 計算하는데 必要한 確率變數들의 不確實量을 算定하기 위해 Rojiani⁽¹¹⁾의 $\Omega_E=0.06$, $\Omega_r=0.03$, $\Omega_A=0.14$, Ellingwood^(3,12)의 $\Omega_{A_s}=0.036$, $\Omega_s=0.045$, $\Omega_A=0.045$, Galambos-Ravindra⁽⁴⁾의 $\Omega_D=0.03$, $\Omega_{A_w}=0.11$, $\Omega_{r_y}=0.10$, $\Omega_{A_{r_y}}=0.10$ 을 適用하였다.

4.1.2. 荷重效果

荷重效果에 대한 平均-公稱比 및 不確實量은 既存의 研究로부터 表 3과 같은 結果를 얻었다.

表 3. 荷重效果의 不確實量

荷重	η_i, Ω_i	η_i	Ω_i	Ω_{σ_i}
死 荷 重		1.0	0.08	0.10
活 荷 重 (DB 荷重)		1.34	0.20	0.29

表 3에서 보는 바와 같이 η_L 는 우리 나라 道路交通의 超過重量車輛 走行狀態가 外國 先進國보다 더 극심함을 고려하여, DB 標準 設計荷重 公稱值를 正規分布로 보고 10% Fractile 值로 취하여 平均-公稱比를 計算하였다⁽²³⁾. 이 때 設計活荷重의 變動係數는 Fujino⁽¹⁸⁾와 文獻 (11) 등의 資料를 참고로 하여 安全側인 $\Omega_L=0.2$ 로 취하였다. 式 (29)에 따라 荷重效果에 대한 Ω_{σ_i} 를 計算하는데 必要한 $\Omega_E, \Omega_{CD}, \Omega_{CL}$ 등은 Galambos-Ravindra^(6,7,8)가 使用한 $\Omega_E=0.05$, $\Omega_{CD}=0.04$, $\Omega_{CL}=0.2$ 를 適用하였다. 한편 Ω_D 는 Ellingwood가 使用한 $\Omega_D=0.08$ 를 適用하였다.

4.2. γ_s 의 反復法과 近似法の 比較

그림 1은 抵抗係數 (ϕ)값을 全體荷重效果로 취한 γ_s 의 反復法과 近似法으로 구하여 그들의 相對誤差를 ρ 에 따라 나타낸 그림이다. 그림 1에서와 같이 ϕ 의 相對誤差는 $\pm 0.096 \sim \pm 0.58\%$ (H形보), $\pm 0.128 \sim \pm 0.44\%$ (鉸桁), $\pm 0.11 \sim \pm 0.55\%$ (合成桁) 정도이다. 즉 鉸桁의 相對誤差가

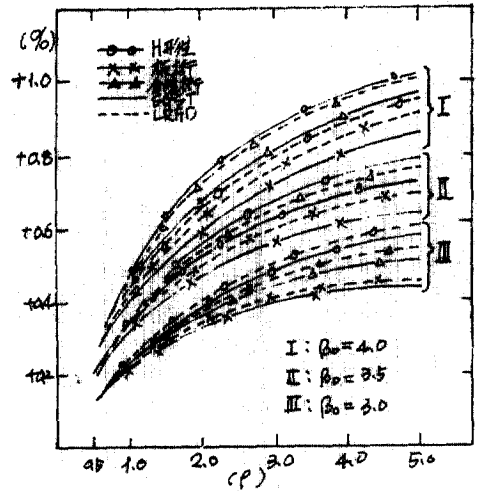


그림 1. γ_s 의 反復法과 近似法の ϕ 의 相對誤差

β_0 에 따라 가장 작은 값을 나타내고, H形보의 경우는 가장 큰 값을 나타내고 있다. 또한 不確實量이 클수록, ρ 와 β_0 가 클수록 相對誤差가 增加함을 엿볼 수 있다. 그리고 SGST Format의 相對誤差가 LRFD Format의 相對誤差보다 거의 작은 값을 보여주고 있다. 따라서 ϕ 의 相對誤差는 $\rho=0.5 \sim 5.0$ 사이에서 ± 1.0 以下이며 특히 $\rho=0.5 \sim 1.5$ 사이에서는 $\pm 0.5\%$ 정도 무시할 수 있는 誤差이다. 이 때 η_0 는 一致하였고 γ_i 의 誤差는 ϕ 의 誤差에 準하였다. 따라서 ϕ, γ_i 값을 구할 때 全體荷重效果를 취한 γ_s 의 近似法을 利用하면 比較的 精確한 값을 쉽게 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.3. 示方書 信頼性檢定

表 2, 3의 統計值에 의하여 鋼構造部材의 휨 및 剪斷에 대한 β 값을 計算하여 表 4에 수록하였다. 이 때 公稱安全率을 $n'=1.7 \sim 2.0$ 으로 規定하였다.

表 4에서 보는 바와 같이 現行 公稱安全率 $n'=2.0$ 으로 計算된 β 값은 $\beta=5.1 \sim 4.0$ (H形보의 휨), $\beta=4.5 \sim 3.2$ (鉸桁휨), $\beta=4.3 \sim 3.1$ (合成桁휨), $\beta=4.0 \sim 3.0$ (剪斷) 정도의 범위이며, 여기서 SGST Format의 β 값이 LRFD Format의 β 값 보다 조금 上限值解를 주는 것은 SGST Format가 設計係數에 대한 \bar{P}, Ω_p 을 安全側 設計로 높게 취했기 때문이다.

表 4. 鋼構造部材의 β 값

部材	$n'=1.7$		$n'=2.0$		
	β		β		
	近似值	正解值	近似值	正解值	
耐荷力	H形보	4.1~3.0 (3.5~2.3)	4.3~3.2 (3.6~2.5)	4.9~3.6 (4.3~3.0)	5.1~4.0 (4.5~3.3)
	板桁	3.5~2.2 (3.6~2.3)	3.6~2.4 (3.6~2.5)	4.3~2.9 (4.3~3.9)	4.5~3.2 (4.5~3.3)
	合成桁	(3.2~2.2)	(3.3~2.3)	(4.0~2.8)	(4.3~3.1)
剪斷	H形보	(3.2~2.1)	(3.3~3.0)	(4.0~2.7)	(4.2~3.0)
	板桁	3.2~2.1 (3.2~2.2)	3.2~2.3 (3.3~2.3)	3.9~2.7 (4.0~2.8)	4.0~3.0 (4.1~3.1)

단, (): LRFD Format

그림 2는 ρ 에 따라 鋼道路橋의 鋼部材의 휩에 대한 β 값을 SGST Format로 比較 分析하여 나타낸 것이다. 그림 2에서와 같이 $n'=2.0$ 일 때 H形보의 β 값이 가장 크고, 合成桁의 β 값이 가장 작게 나타나는데, 表 4에서와 같이 H形보 및 板桁의 剪斷에 대한 β 값과 合成桁의 휩에 대한 β 값과 거의 一致하므로 不確實 要因을 고려해 볼 때 剪斷의 設計가 될 수 있는 한 安全側 設計가 되어야 한다. 또한 抵抗의 平均-公稱比(γ_R)가 클 수록 β 가 커지는데, 鋼構造部材에 대한 目標信賴性指數(β_0)은 文獻 (13), (14)에서와 같이 $\rho=1.0\sim 2.0$ 사이의 β 값으로 n' 에 관계없이 선정함이 바람직하다고 본다.

따라서 表 4과 그림 2에서와 같이 ρ 의 變化

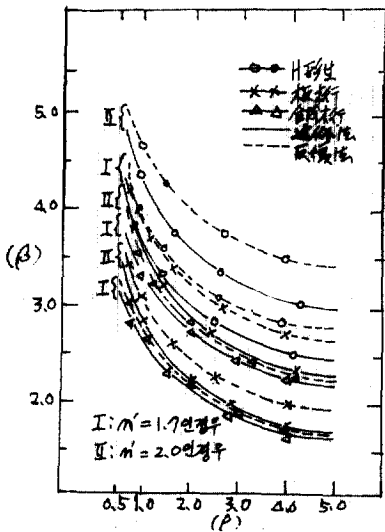


그림 2. 鋼道路橋示方書의 ρ 에 대한 β 값



그림 3. 鋼道路橋示方書의 ρ 에 대한 ϕ, γ_i 값

에 따른 β 값은 급격히 減少하므로 外國의 경우와 같이 $\beta_0=3.0$ 정도를 使用하는데 反하여 (13, 14) 鋼道路橋의 典型的인 鋼板桁의 不確實量을 선정하여 우리의 技術水準과 高速重量化 交通荷重의 現實을 고려하면, 荷重比 ρ 가 1.0~1.5 사이에서 $\beta_0=3.5$ 정도로 취함이 적당하다고 판단된다.

4.4. 信賴性 設計規準

4.4.1. 荷重-抵抗係數의 算定

表 2, 3의 不確實量과 $\beta_0=3.5$ 을 취하여 ρ 에 따라 ϕ, γ_i 를 나타낸 것이 그림 3이다. 그림에서와 같이 ϕ, γ_i 는 ρ 의 增加에 따라 거의 直線的으로 미소한 變化를 보이나, γ_i 는 상당히 增加한다. 이는 活荷重效果의 不確實量이 커지기 때문이다. 특히 $\rho=1.0\sim 2.0$ 사이에서 γ_i 가 急變化하고 載荷狀態에 민감하므로 前節의 β 를 算定하는 ρ 의 범위와 같이 ϕ, γ_i 값을 $\rho=1.0\sim 2.0$ 사이에서 決定함이 바람직하다고 본다.

또한 그림 3에서와 같이 鋼構造部材에 대해 SGST Format로 平均抵抗係數(ϕ)와 平均荷重係數(γ_i)가 H形보 < 合成桁 < 板桁의 順으로 나타나는데, ϕ, γ_i 는 平均值로부터 計算한 것이므로 이들을 公稱值로 換算해야 실제 설계에 적용할 수 있으며 文獻 (22)에서와 같이 平均-公稱比를 利用하면 된다. 따라서 公稱抵抗係數(ϕ')는 合成

表 5. 荷重一抵抗係數

() : LRFD Format

區分	鋼部材	耐荷力	抵抗係數		死荷重係數		活荷重係數	
			ϕ	ϕ'	γ_D	γ_D'	γ_L	γ_L'
1.0	H 形 보	휨	0.5888 (0.6385)	0.9185 (0.8109)	1.0418 (1.0667)	1.0618 (1.0667)	1.5197 (1.5610)	2.0364 (2.0917)
		剪斷	(0.6408)	(0.7690)	(1.0669)	(1.0669)	(1.5631)	(2.0946)
	鉸 桁	휨	0.6821 (0.6575)	0.8185 (0.8153)	1.0713 (1.0687)	1.0713 (1.0687)	1.5995 (1.5776)	2.1433 (2.1140)
		剪斷	0.6109 (0.6109)	0.7453 (0.7575)	1.0640 (1.0640)	1.0640 (1.0640)	1.5378 (1.5378)	2.0607 (2.0607)
	合成桁	휨	(0.6109)	(0.7453)	(1.0640)	(1.9640)	(1.5378)	(2.0607)
	1.5	H 型 보	휨	0.5978 (0.6479)	0.8826 (0.8228)	1.0452 (1.0486)	1.0452 (1.0486)	1.5708 (1.6129)
剪斷			(0.6503)	(0.7804)	(1.0487)	(1.0487)	(1.6150)	(2.1641)
鉸 桁		휨	0.6917 (0.6670)	0.8300 (0.8271)	1.0517 (1.0499)	1.0517 (1.0499)	1.6518 (1.6396)	2.2134 (2.1838)
		剪斷	0.6201 (0.6201)	0.7765 (0.7689)	1.0467 (1.0467)	1.0467 (1.0467)	1.5893 (1.5893)	2.1297 (2.1297)
合成桁		휨	(0.6201)	(0.7565)	(1.0467)	(1.0467)	(1.5893)	(2.1297)

表 6. 設計規準의 比較

鋼部材	耐荷力	H 形 보		鉸 桁		合成桁
		휨	剪斷	휨	剪斷	휨
ϕ'	I	0.75	0.71	0.74	0.70	0.69
	II	0.80	0.76	0.80	0.76	0.75

I : 1.2D+1.8L

II : 1.2D+2.0L

桁 < 鉸桁 < H形보의 順으로 된다. 이는 H形보의 Ω_R 과 γ_R 가 鉸桁, 合成桁보다 높기 때문이고 SGST Format 에서 計算된 ϕ' 값은 現行 AA SHTO 示方書의 LFD 法에 의한 $\phi'=0.9$ 水準을 보여주고 있다. 또한, 公稱荷重係數 (γ_i')는 平均荷重係數 (γ_i)와 같이 H形보 < 合成桁 < 鉸桁의 順으로 鉸桁의 휨이 γ_i 의 載荷狀態에 민감함을 알 수 있다.

4.4.2. 設計規準의 比較

表 6은 文獻 (13), (14)의 PBLSD 形態로 H形보, 鉸桁, 合成桁에 대해 表 5의 公稱荷重一抵抗係數를 利用하여 荷重係數를 統一하였을 때 公抵抗係數 ϕ' 를 再調整한 것이다. 이때 γ_D' , γ_L' 稱은 現行 道路橋示方書에서 DB-24 荷重이 갖는 信賴性정도를 알기 위하여 文獻 (20)에서 提案한 $\gamma_D'=1.2$, $\gamma_L'=2.0$ (DB 荷重), $\gamma_L'=1.8$ (DL 荷重)으로 취하였다.

表 5에서와 같이 ϕ' , γ_i' 는 現行 LFD 法의 $\phi'=0.9$, $\gamma_D'=1.3$, $\gamma_L'=2.17$ 와 比較해 볼 때 H形보, 鉸桁의 경우와 거의 一致함을 볼 수 있고, 公稱安全率(n')는 鋼構造部材에 대해 $n'=2.04\sim 2.19$ 정도로, AASHTO의 $n'=1.93$ 이 $\beta_0=3.5$ 에 대응하는 本 研究의 n' 보다 낮은 것은 당연한 것이다. 또한 表 6에서 現行示方書設計規準과 信賴性設計規準을 比較해 보면 LFD(荷重係數設計)法에서 $\phi'=0.9$ 인데 반하여 $\phi=0.15\sim 0.21$ 정도 낮은 값이며 $\gamma_D=0.1$, $\gamma_L'=0.17\sim 0.37$ 정도 낮은 값으로 나타나고 있음이 特徵이라 하겠다.

5. 結 論

本 研究에서는 2次모멘트 信賴性理論에 의한 鋼道路橋의 信賴性解析 및 LRFD 設計規準의 實

用的인 決定方法을 適用하기 쉬운 形態로 유도한 反復試行알고리즘과 近似的인 計算方法을 提案하고, LRFD Format 및 SGST Format에서 使用한 不確實量 算定方法을 利用하여 現行 WSD 法에 의해 設計되는 安全率水準을 檢討하고, 우리의 現實을 고려한 不確實量水準 및 目標信賴性指數에 의해 荷重係數設計法(LFD)과 유사한 信賴性設計規準의 抵抗 및 荷重係數를 決定하고 또 公稱安全率을 提案하였다.

이상과 같은 研究를 통하여 얻어진 結論은 다음과 같다.

1) 本 研究의 部分對數正規變換 중에서 全體 荷重效果를 취한 近似式은 反復式에 比較的 접근한 값을 얻을 수 있으므로 이 近似式을 利用하면 信賴性解析 및 荷重-抵抗係數를 效果의 으로 算定할 수 있다.

2) 目標信賴性指數는 現行示方書의 安全率에 의해 檢定하여 AASHTO 示方書등에 의해 檢定한 $\beta_0=3.0$ 보다 높은 $\beta_0=3.5$ 정도로 취하므로서 우리의 技術水準, 品質管理水準을 반영한 信賴性設計가 되도록 하는것이 바람직하며, 정확한 統計資料 및 信賴性解析方法이 研究되기 前에는 鋼鉸桁에 대하여 不確實量의 범위를 安全側으로 취하여 $\bar{M}/M'=1.20$, $\bar{V}/V'=1.22$, $\bar{L}/L'=1.34$, $\Omega_M=0.14$, $\Omega_V=0.17$, $\Omega_{SD}=0.10$, $\Omega_{SL}=0.29$ 를 적용함이 바람직하다고 할 수 있다.

3) 目標信賴性指數 $\beta_0=3.6$ 로 하고 H形보, 鉸桁, 合成桁의 통상 荷重比 $\rho=1.0\sim 1.5$ 에 대해 γ_i 값은 日本道路協會 橋梁委員會에서 提案한 荷重係數設計法의 係數와 거의 同一하게 됨으로 우리 나라에서도 다음과 같은 荷重係數를 사용함이 타당하다고 본다.

死荷重係數: $\gamma_D'=1.2$

活荷重係數(DL 荷重): $\gamma_L'=1.8$

活荷重係數(DB 荷重): $\gamma_L'=2.0$

4) 上記한 共通荷重係數에 따라 再調整한 結果 鋼道路橋의 公稱抵抗係數는 다음과 같이 된다.

H形보, 鉸桁: 휨 $\phi'=0.75$ (DL 荷重),

$\phi'=0.80$ (DB 荷重)

剪斷 $\phi'=0.70$ (DL 荷重),

$\phi'=0.76$ (DB 荷重)

合成桁: 휨 $\phi'=0.69$ (DL 荷重),

$\phi'=0.75$ (DB 荷重)

5) 現行 鋼道路橋 示方書의 許容應力 設計規準에서 使用하는 安全率은 鋼道路橋의 特性을 反映하는 安全率로 再調整 되어야 하며, 本 研究에서 提案한 信賴性 設計規準에 대응하는 적절한 公稱 安全率은 대표적인 荷重比 $\rho=1.0$ 에 對應하는 값으로 다음과 같다.

H形보, 鉸桁: 휨 $n'=2.04$

剪斷 $n'=2.15$

合成桁: 휨 $n'=2.19$

謝 辭

끝으로 本 研究는 韓國科學財團 研究助成費에 의해 이루어졌으며, 이에 財團當局에 眞心으로 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

1. Loporati, E., "The Assessment of Structural Safety," *Series in Cement & Concrete Research, Vol. 1*, Research Studies Press, 1979.
2. Lind, N.C., Hasofer, A.M., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format," *Journal of the Engineering Mechanics Div. ASCE, Vol. 100, No. EM1*, Feb. 1974, pp.111~121.
3. Ellingwood, B., "Reliability Bases of Criteria for Reinforced Concrete Design," *Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 105, No. ST4*, April 1979, pp.713~727.
4. Hanes, R.M., "Second-Moment Reliability Analysis of Reinforced Concrete Slabs," Ph. D. Thesis, Dept. of Civil Eng., Purdue Univ., Aug. 1978.
5. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Properties of Steel for Use in LRFD," *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No. ST9*, Sep. 1978, pp.1459~1468.
6. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Tentative Load and Resistance Factor Design Criteria for Steel Beams," *Research Report No. 27*, Civil Eng. Dept. Washington University, St. Louis, Mo., Feb., 1976.
7. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Tentative Load and Resistance Factor Design Criteria for

- Steel Plate Girders," *Research Report No. 29*, Civil Eng. Dept., Washington University, St. Louis, Mo. Feb., 1976.
8. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Load and Resistance Factor Design Criteria for Composite Beams," *Research Report No. 88*, Civil Eng. Dept., Washington Univ., St. Louis, Mo., Apr. 1976.
 9. Ang, A.H.-S., and Tang, W.H., "*Probability Concepts in Engineering Planning and Design*", John Wiley and Sons, Inc., 1984, pp. 336~447.
 10. Nowak, A.S. and Lind, M.C., "Practical Bridge Code Calibration," *Journal of the Structural Div. ASCE, Vol. 105, No. ST12*, December, 1979, pp. 2497~2510.
 11. Rojinai, K., Wen, K.Y., "Reliability of Steel Building under Winds," *Journal of the structural Div., ASCE, Vol. 107, No. ST1*, Jan., pp. 203~221.
 12. Ellingwood, B.R. and Ang, A. H.-s., "Risk-Based Evaluation of Design Criteria," *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 100, No. ST9*, Sept. 1974, pp. 1771~1788.
 13. Ellingwood, B., MacGregor, J.G., Galambos, T. V. and Cornell, C.A., "Probability Based Load Criteria; Assessment of Current Design Practice," *Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 108, No. ST5*, May 1982, pp. 959~977.
 14. Ellingwood, B. MacGregor, J.G., Galambos, T. V., and Cornell, C.A., "Probability Based Load Criteria; Load Factors and Load Combinations," *Journal of the Structural Div. ASCE, Vol. 108, No. ST5*, May 1982, pp. 978~997.
 15. Rosenblueth, E. and Esteve, L., "*Reliability Bases for some Mexico Codes*," Special Publication 31, The American Concrete Institute, Denver, Colo., Mar. 1971, pp. 1~42.
 16. 白石成人 外 2人, "2次モメント法による信頼性設計法に関する二, 三の考察" 日本土木學會論文報告集, 第31號, 1981. 7, pp. 1~12.
 17. 東海鋼構造研究グループ, "鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用(上)(下)", 橋梁と基礎, 1980. 11, 12, pp. 33~43, pp. 38~44.
 18. 藤野陽三外 2人, "シミュレーションに基づく道路橋設計荷重の評価", 日本土木學會論文報告集, 第286號, 1979. 6月 pp. 1~13.
 19. 西野・長谷川, "道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改訂の背景と運用", 橋梁と基礎, 1981. 6, pp. 8~13.
 20. 日本道路協會橋梁委員會, "荷重係數設計法について" 道路, 1979. 6月, pp. 42~46.
 21. 趙孝男, "R.C. 휨부재의 LRFD 信頼性設計規準에 관한 研究", 大韓土木學會論文集, 第1卷 第1號, 1981. 12, pp. 21~32.
 22. 趙孝男, "鐵筋콘크리트 道路橋 上部構造의 信頼性設計規準에 관한 研究", 大韓土木學會論文集, 第2卷, 第3號, 1982. 9, pp. 87~99.
 23. 趙孝男, "螺旋기둥의 信頼性設計規準에 관한 研究", 大韓土木學會論文集, 第3卷, 第4號, 1983. 12 pp. 11~20.

(接受 : 1984. 11. 12)