

軍用戰車 通過에 대한 道路橋梁의 安全度分析 및 耐荷力判定

Safety Assessment and Rating of Road Bridges against the Crossing of Heavy Military Tanks

| | | |
|-------|------|-------|
| 趙 | 孝 | 男* |
| Cho, | Hyo | Nam |
| 韓 | 奉 | 九** |
| Han, | Bong | Koo |
| 全 | 載 | 明*** |
| Chun, | Chai | Myung |

Abstract

This study is intended to propose an approach to reliability-based safety evaluation as well as LRFR(Load and Resistance Factor Rating) type capacity classification of military or civilian bridges based on the limit state models which are derived by incorporating all the uncertainties of resistance and load random variables including deterioration, and are used in a practical AFOSM (Advanced First Order Second Moment) method.

The proposed methods for the assessment of safety and load carrying capacity are applied for the evaluation of rating and classifications of several practical bridges against the crossing of military vehicles.

Based on the observation of the numerical results, it can be concluded that the current NATO classification method which is based on the traditional allowable stress concept can not provide real load carrying capacity but results in nominal classification, and therefore the reliability-based safety evaluation and LRFR-classification method or the corresponding rational allowable stress method proposed in this paper may have to be introduced into the classification practice.

要 旨

本 研究에서는 군용전차의 교량통과시 老朽度を 비롯한 각종 抵抗 및 荷重관련 不確實量을 체계적으로 포함한 限界狀態模型을 유도하고, 실용적이며 진보된 2次모멘트 信賴性 理論을 사용하여 軍用橋梁 및 一般橋梁의 信賴性에 기초한 安全度 分析方法과 荷重抵抗係數 형식의 級數計算方法을 提案하였다.

* 正會員 · 漢陽大學校 工科大學 教授, 土木工程科

** 正會員 · 陸軍士官學校 助教授, 土木工程科

*** 正會員 · 陸軍士官學校 講師, 土木工程科

本 研究에서 提案하는 安全度 分析 및 耐荷級數 判定方法을 몇개의 실제 교량에 적용하여 보았다.

本 研究의 結果 現行 재래식 허용응력개념에 의한 NATO 급수계산방법은 實耐荷力 判定이 아닌 명목적인 급수판정방법에 불과함을 알 수 있으며, 따라서 본 연구에서 提示한 信賴性方法에 의한 安全度 分析方法과 荷重—抵抗係數형 급수 계산방법이나 이에 대응하는 합리적인 許容應力法에 의한 實耐荷級數 計算方法의 도입이 시급하다고 본다.

1. 序 論

현재 탱크나 장갑차 등 軍用重車輛의 通過에 따른 道路橋梁의 安全度 分析을 위한 車輛 및 橋梁의 耐荷力判定은 美工兵團에서 개발한 NATO의 標準級數分類方法에 의존하고 있다. 그러나 이러한 標準級數計算方法은 在來의인 構造解析 및 設計法에 따라 간편법으로 사용하기 위해 개발된 것으로서 技術的인 落後性뿐만 아니라 老朽度 등을 체계적으로 고려하지 않은 耐荷力 算定이나 許容應力 등에 있어서 많은 문제점들을 내포하고 있기 때문에 道路橋梁의 實耐荷力에 기초한 耐荷力 判定方法으로는 不適合하다.

本 研究에서는 構造信賴性理論 및 確率統計技術을 적용하여 戰車 通過에 대한 橋梁의 安全度 評價 및 耐荷力 判定方法을 提示하고자 한다.

2. 軍用戰車 通過에 대한 現行 橋梁耐荷力 判定 方法

현재 우리나라에서 사용하고 있는 戰車 通過에 대한 橋梁의 安全度 分析方法은 NATO의 標準級數分類方法에 의존하고 있는데, 이 방법은 美工兵 技術교범 [TM 5-312]⁽⁶⁾에 詳述되어 있다.

그러나 이 方法은 지나치게 略式判定方法이므로 많은 문제점을 내포하고 있는 바 現行方法은 研究 改善되어야 한다.

3. 戰車 通過에 대한 安全度 評價 및 耐荷力 判定模型

本 研究에서는 限界狀態模型內에 老朽度를 명백하게 반영한 限界狀態方程式에 따라 AFOSM 信賴性方法에 의해 戰車 通過에 대한 道路橋梁의 安全度 評價方法 및 供用戰車 荷重 計算方法

을 提示하고자 한다.

3.1 限界狀態模型

戰車 通過에 대한 道路橋梁에서 단시간 교량의 主荷重은 死荷重과 戰車 荷重이 되므로 교량의 실제상태를 고려한 作用外力을 解析하기 위해서는 限界狀態函數를 다음과 같은 一般式으로 나타낼 수 있다.

$$R - S_D - S_L \leq 0 \quad (1)$$

이때, 式 (1)의 抵抗 및 作用外力 模型은 既發表文獻^(1),10)과 같은 형식으로 나타낼 수 있다.

(1) 抵抗 模型

$$R = R_n P M F D \quad (2)$$

여기서 R_n 은 實斷面의 추정공칭강도, P 는 해석모형에 관련된 確率變數, M 과 F 는 각각 재료강도 및 제작 또는 시공에 관련된 確率變數이고, D 는 구조요소, 단면의 노후손상추정에 관련된 불확실량 確率變數이다.

(2) 作用外力 模型

橋梁의 실제상태를 고려한 作用外力 S 는 式 (1)과 같이 死荷重 및 戰車 荷重에 의한 作用外力 S_D, S_L 로 구분하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S &= S_D + S_L \\ &= C_D D_n D_S L_D + C_L (1+i) P_n P_S \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 C_D, C_L 은 단위사하중 및 단위전차 하중의 작용외력에 대한 確定的 영향계수, D_n 과 P_n 은 각각 공칭사하중 및 공칭전차하중, i 는 공칭충격계수, L_D 는 死荷重推定不確實量 確率變數, D_S 는 사하중을 作用外力으로 變換시키는 解析上의 不確實量 確率變數이고, P_S 는 戰車 荷重에 의한 作用外力을 구하는 과정에서 解析上의 不確實量과 응답추정에 관련된 不確實量을 포함하는 確率變數로서 실측시와 외관조사만 행할 경우로 구분하여 나타낼 수 있다. 즉, 실측시의 P_S 는 구조해석상의 불확실량변수 P'_S 와

응력 및 충격보정계수(K'_s, K'_i)의 積으로 表現되는 實測值 對 計算值의 比로 나타낸 보정계수 $K' (=K'_s \cdot K'_i)$ 와 재하시험에 의해 측정하는데 관련된 不確實量變數 P_T 의 函數로서 $P_s = P'_s K' P_T$ 로 나타내어지며, 외관조사에 의한 때의 P_s 는 단순히 P'_s 이나 이 경우의 P_s 의 不確實量은 실측시보다 훨씬 큰 값을 취해야 한다.

3.2 信賴度 評價方法 指針

本 研究에서는 일반트럭 하중의 通過에 대한 既發表文獻⁽¹⁰⁾에서와 같이 교량에 대한 戰車 通過 許容荷重을 計算하기에 앞서 特定車輛通過에 대한 橋梁의 安全度를 評價하므로써 교량의 健全性, 老朽損傷 정도를 評價하는 方法을 提案한다. 즉, Rackwitz-Fiessler 알고리즘을 이용한 AFOSM 信賴性方法^(2,3,7)에 의해 교량의 실제상태에 대한 信賴性指數 β 를 計算하므로써, 計算된 β 에 따라 다음과 같은 조치를 취하도록 한다.

$\beta_0 (=2.5) \leq \beta$: 定常通過

$1.5 \leq \beta < 2.5$: 注意通過

$1.0 \leq \beta < 1.5$: 특별서행, 차량통과 후 기술자 점검

$\beta \leq 1.0$: 보강보수 또는 우회로 사용조치

3.3 供用戰車 荷重 計算公式

橋梁의 供用戰車 荷重은 戰車가 定常通過해도 橋梁耐荷期間중에 교량의 健全도 또는 안전도에 문제가 발생하지 않는 最大荷重인 定常通過許容荷重과 혼련시 또는 전시에 戰車의 橋梁中心線에 따른 서행 특별통과로부터 교량을 보호할 수 있는 最大荷重인 注意通過許容荷重으로 구분하여 耐荷力 評價를 실시함이 바람직하다.

供用戰車 荷重 計算公式는 Rackwitz-Fiessler 알고리즘을 포함한 AFOSM 信賴性方法을 이용하여 β 대신에 安全母數 ϕ, γ_i 를 결정하는 알고리즘으로부터 荷重—抵抗係數規準形式을 사용하므로써 유도할 수 있다.

前述한 式 (1)과 같은 限界狀態方程式에서 한계상태면의 檢査點(R^*, S_D^*, S_L^*)은 既發表文獻⁽¹⁾에서와 같이 安全母數 ϕ, γ_D, γ_L 을 사용하면 式 (4)가 된다.

$$\phi \bar{R} - \gamma_D \bar{S}_D - \gamma_L \bar{S}_L = 0 \quad (4)$$

그런데 本 研究에서는 翳과괴만을 고려하므로

$\bar{R}, \bar{S}_D, \bar{S}_L$ 를 $\bar{m}_R, \bar{m}_{DL}, \bar{m}_{LL}$ 로 대치하면 前述한 式 (2), (3)으로부터

$$\bar{m}_R = m_R \eta_R \quad (5a)$$

$$\bar{m}_{DL} = m_{DL} \eta_D \quad (5b)$$

$$\bar{m}_{LL} = m_{LL} (1+i) \eta_L \quad (5c)$$

또는

$$\bar{m}_{LL} = m_{LL} (1+i) K' \eta_L \quad (5d)$$

이며, 여기서 $\eta_R = P M F \bar{D}, \eta_D = \bar{D}_s \bar{L}_D, \eta_L = \bar{P}_s$ 이다.

따라서 式(4)를 公稱值로 나타내면 다음과 같다.

$$\phi' m_R - \gamma'_D m_{DL} - \gamma'_L m_{LL} (1+i) = 0 \quad (6a)$$

$$\phi' m_R - \gamma'_D m_{DL} - \gamma'_L m_{LL} (1+i) K' = 0 \quad (6b)$$

위의 式(6a)와 (6b)는 각각 외관조사에 의한 경우와 실측시에 대해 적용하는 限界狀態方程式이다.

本 研究에서는 현행과 같이 計算圖表를 이용하는 近似的인 方法에 의해 供用戰車 荷重을 計算하는 경우와 現行方法을 대치할 수 있는 解析的인 方法에 의해 供用戰車 荷重을 計算하는 두 가지 方法에 대하여 고찰하였다. 그리고 이들 각 方法에 대하여 各變數의 不確實量을 合理的으로 고려하여 결정되는 安全母數를 사용하는 荷重—抵抗係數法과 이와 같이 信賴性方法에 의해 결정된 安全母數 ϕ', γ'_i 에 대응하는 각 재료의 許容應力에 기준하는 許容應力方法으로 區分하여 각각 提案하였다.

前述한 式(5), (6)으로부터 計算도표를 이용한 供用荷重計算에 필요한 活荷重모멘트耐力 m_{LL} 計算公式과 직접적으로 供用戰車 荷重 P_n 을 구하는 公式을 각각의 경우에 대해 유도하면 다음과 같다.

(1) 計算圖表 利用方法

① 荷重—抵抗係數法

i) 실측시 ; $m_{LL} = \frac{\phi' m_R - \gamma'_D m_{DL}}{\gamma'_L K' (1+i)} \quad (7a)$

ii) 외관조사 ; $m_{LL} = \frac{\phi' m_R - \gamma'_D m_{DL}}{\gamma'_L (1+i)} \quad (7b)$

② 許容應方法

i) 실측시 ; $m_{LL} = \frac{m_a - m_{DL}}{K' (1+i)} \quad (8a)$

ii) 외관조사 ; $m_{LL} = \frac{m_a - m_{DL}}{1+i} \quad (8b)$

(2) 解析的方法에 의해 供用戰車 荷重 算出 公式

① 荷重—抵抗係數法

$$i) \text{ 실측시 ; } P_n = \frac{\phi' m_R - \gamma'_{DL} m_{DL}}{\gamma'_{LC} C_L (1+i) K'} \quad (9a)$$

$$ii) \text{ 외관조사 ; } P_n = \frac{\phi' m_R - \gamma'_{DL} m_{DL}}{\gamma'_{LC} C_L (1+i)} \quad (9b)$$

② 許容應力法

$$i) \text{ 실측시 ; } P_n = \frac{m_a - m_{DL}}{C_L (1+i) K'} \quad (10a)$$

$$ii) \text{ 외관조사 ; } P_n = \frac{m_a - m_{DL}}{C_L (1+i)} \quad (10b)$$

4. 統計的 不確實量

本 研究에서 사용된 統計値는 構造抵抗과 荷重 모델, 構造部材의 거동에 따른 道路橋梁의 構造材料 및 形式別 抵抗 및 作用外力 不確實量, 그리고 變數의 確率分布에 관한 國內文獻 및 外國의 資料들을 綜合하여 국내현실을 고려한 적절한 값으로 조정하여 取하였다.

4.1 抵抗 不確實量

抵抗 不確實量은 전형근사기법으로부터 구해 질 수 있으며, 前章의 式(5a)로부터 抵抗모멘트 m_R 의 平均 및 變動係數는 既發表文獻⁽¹⁰⁾에서와 같이 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{m}_R = m_R P M F D \quad (11)$$

$$V_{m_{R0}} = (V_P^2 + V_M^2 + V_F^2)^{1/2} \quad (12)$$

$$V_{m_R} = (V_{m_{R0}}^2 + V_D^2)^{1/2} \quad (13)$$

本 研究에서는 式(11)~(13)에 나타낸 4 변수들의 통계치는 위의 문헌과 같은 값을 사용하였으며 表 1에 나타내었다. 그리고 抵抗變數의 確率分布에 대하여서도 각 교량 모두 위의 文獻⁽¹⁰⁾에서와 같이 對數正規分布를 택하였다.

4.2 作用外的 不確實量

前述한 式(5)에서 死荷重모멘트 및 活荷重모멘트에 대한 確率變數들의 統計値는 관련문헌 등의 가용한 자료를 종합판단하여 다음 表 2와 같이 선택하였다. 表 2에서, 사하중모멘트 m_{DL} 의 변동계수 $V_{m_{DL}}$ 은 통상 사용하는 값보다 다소 작은데, 이는 級數算定時의 死荷重不確實量은 設計時의 不確實量보다는 작을 것으로 판단되기 때문이다. 활하중모멘트에 대한 基本確率變數는 오직 P_S 뿐인데, P_S 는 외관조사만 행할 때가 엄밀한 耐荷力調査를 행할 때보다 응력해석상의 不確實量이 커지는 것이 自明하므로 本 研究에서는 그 差異를 0.05로 하였다.

5. 道路橋梁의 供用戰車 荷重 計算規準

5.1 目標信賴性指數

信賴性方法에 의한 規準檢討時 가장 중요한 것은 각 限界狀態에 대한 합리적인 目標信賴性指數의 선택이다. 目標信賴性指數의 선택방법에 대해서는 既發表文獻^(8,10)에 詳述되어 있으므로 여기서는 언급하지 않기로 한다.

一般道路橋의 格심한 교통하중에 대한 R.C 및

表 1. 抵抗統計値

| 구 분 | R.C T 桁橋 | | R.C 슬래브橋 | | I 桁橋 | |
|-----|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | \bar{m}_R/m_R | $V_{m_{RD}}$ | \bar{m}_R/m_R | $V_{m_{RD}}$ | \bar{m}_R/m_R | $V_{m_{RD}}$ |
| 규 준 | 1.12 | 0.16 | 1.20 | 0.16 | 1.07 | 0.15 |
| 평 가 | $V_{m_R}=0.189$ | | $V_{m_R}=0.189$ | | $V_{m_R}=0.180$ | |

表 2. 死荷重 및 活荷重 모멘트의 統計値

| 死荷重 모멘트 | | 活荷重 모멘트 | | 비 고 |
|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|---------|
| \bar{m}_{DL}/m_{DL} | $V_{m_{DL}}$ | \bar{m}_{LL}/m_{LL} | $V_{m_{LL}}$ | |
| 1.05 | 0.05 | 1.0 | 0.20 | 외 관 조 사 |
| | | 1.0 | 0.15 | 실 측 시 |
| 正 規 分 布 | | 對數正規分布 | | 確 率 分 布 |

강재의 휨부재에 통상 사용되는 要素目標信頼性指數가 3.0임을 고려하면 戰車 通過회수가 드물고 일반중차량에 비해 상대적으로 서행 통과함을 감안하여 定常通過供用荷重에는 $\beta_0=2.5$, 注意通過를 요하는 特別通過最大荷重에는 $\beta_0=1.5$ 로 선택하는 것이 바람직하다고 판단된다.

5.2 提案 規準

前述한 목표신뢰성지수와 統計的 不確實量들을 사용하여 각 교량별로 m_{LL}/m_{DL} 의 變化에 따른 ϕ', γ'_i 의 銳敏度를 알아보기 위해 AFOSM 신뢰성 방법에 의해 계산된 결과를 요약하면 다음과 같다. 정상통과 공용하중($\beta_0=2.5$)일 때 γ'_D 는 각 교량 모두 거의 비슷한 값을 가질뿐 아니라 m_{LL}/m_{DL} 의 變化에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는다. 그리고 ϕ' 는 T형교와 I형교에서는 거의 비슷하고 슬래브교에서는 이들 교량보다 약 0.05 정도 높은 값을 나타내나 위 橋梁 모두 m_{LL}/m_{DL} 의 變化에는 그렇게 민감하지 않다. 그런데 γ'_L 는 作用外力比(m_{LL}/m_{DL})의 變化에 상당히 민감함을 나타낸다. 注意通過特別荷重일 때($\beta_0=1.5$)는 前述한 $\beta_0=2.5$ 일 때와 거의 비슷한 양상을 나타내지만 γ'_L 는 m_{LL}/m_{DL} 의 변화

에 다소 덜 민감하다.

本 研究에서 提案하는 규준은 일반트럭 하중에 대한 기발표 문헌에서와 같은 방법으로 전술한 ϕ, γ'_i 계산결과를 기초하여 각 교량별로 통상의 作用外力比에 대응하는 ϕ, γ'_i 를 선정하여 각 교량별 사용빈도에 대한 상대적 加重值를 적용하는 誤差最少化技法을 사용하였다.

다음 表 3에는 本計算時 적용한 통상의 作用外力比에 대한 실측시와 외관조사만 행할 때의 ϕ', γ'_i 를 나타내었으며, 다음 表 4에는 이상의 計算結果로부터 本 研究에서 提案하는 抵抗 및 荷重係數를 나타내었다.

따라서 아래의 表 4에서 提案된 각 교량별 ϕ', γ'_i 를 이용하면 前節 3.3에서 提示된 供用戰車 荷重 計算公式式(7)~(10)으로부터 각 設計法에 따른 活荷重모멘트 m_{LL} 과 供用戰車 荷重 P_n 은 다음 表 5와 같이 된다. 表 5의 허용응력범에서 슬래브교나 T형교에 대해서는 철근 및 콘크리트재료에 대한 安全率을 서로 같게 취하므로 R.C 橋에 대해서는 동일한 許容應力을 제시하였다. 또한 解析的인 方法에 의한 供用戰車 荷重 計算公式에서 單位荷重에 의한 活荷重모멘트의

표 3. 各 橋梁에 대한 ϕ', γ'_i 및 n'

| 橋 梁 | 상대적 가중치 | $\frac{m_{LL}}{m_{DL}}$ | 조사방법 | 정상통과($\beta=2.5$) | | | | 주의통과($\beta=1.5$) | | | |
|-----------|------------|-------------------------|---------|---------------------|-------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------------|-------|
| | | | | ϕ' | γ'_D | γ'_L | n' | ϕ' | γ'_D | γ'_L | n' |
| R.C. T 桁橋 | 0.45 | 1.0 | 실 측 시 | 0.762 | 1.067 | 1.119 | 1.434 | 0.887 | 1.062 | 1.072 | 1.203 |
| | | | 외 관 조 사 | 0.775 | 1.063 | 1.218 | 1.471 | 0.896 | 1.059 | 1.124 | 1.218 |
| R.C. 슬래브橋 | 0.20 | 2.0 | 실 측 시 | 0.824 | 1.060 | 1.148 | 1.358 | 0.956 | 1.057 | 1.088 | 1.127 |
| | | | 외 관 조 사 | 0.846 | 1.057 | 1.274 | 1.420 | 0.971 | 1.055 | 1.154 | 1.154 |
| I 桁 橋 | 0.35 | 2.0 | 실 측 시 | 0.774 | 1.066 | 1.209 | 1.500 | 0.875 | 1.062 | 1.111 | 1.251 |
| | | | 외 관 조 사 | 0.805 | 1.059 | 1.372 | 1.574 | 0.892 | 1.056 | 1.187 | 1.281 |

표 4. 提案 ϕ', γ'_i

| 교 량 | 저 항 계 수(ϕ') | | 하 중 계 수(γ'_i) | | 비 고 |
|-----------|--------------------|---------|------------------------|----------------------|---|
| | 정 상 통 과 | 주 의 통 과 | 정 상 통 과 | 주 의 통 과 | |
| R.C. T형교 | 0.80 | 0.80 | $\gamma'_D=1.05$ | $\gamma'_D=1.05$ | * ϕ', γ'_D 는 실측시 및 외관조사시의 구분없이 같은 값임 *()내는 실측시의 γ'_L |
| R.C. 슬래브교 | 0.85 | 0.85 | $\gamma'_L=1.30$ | $\gamma'_L=1.00$ | |
| I형교 | 0.75 | 0.75 | ($\gamma'_L=1.20$) | ($\gamma'_L=1.00$) | |

표 5. 各 設計法에 따른 提案規準

(a) 하중-저항계수법

| 교 량 | 조 사 방 법 | NATO 급수계산도표이용(m_{LL}) | | 해석적 방법에 의한 공용급수(P_n) | |
|-----------|---------|---|---|--|--|
| | | 정 상 통 과 | 주 의 통 과 | 정 상 통 과 | 주 의 통 과 |
| R.C. T형교 | 실 측 시 | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.2K'(1+i)}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.0K'(1+i)}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.2C_L(1+i)K'}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)K'}$ |
| | 외 관 조 사 | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.3(1+i)}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.0(1+i)}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.3C_L(1+i)}$ | $\frac{0.8m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)}$ |
| R.C. 슬래브교 | 실 측 시 | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.2K'(1+i)}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.0K'(1+i)}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.2C_L(1+i)K'}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)K'}$ |
| | 외 관 조 사 | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.3(1+i)}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.0(1+i)}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.3C_L(1+i)}$ | $\frac{0.85m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)}$ |
| I형교 | 실 측 시 | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.2K'(1+i)}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.0K'(1+i)}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.2C_L(1+i)K'}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)K'}$ |
| | 외 관 조 사 | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.3(1+i)}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.0(1+i)}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.3C_L(1+i)}$ | $\frac{0.75m_R - 1.05m_{DL}}{1.0C_L(1+i)}$ |

(b) 허용응력법

| 조 사 방 법 | m_{LL} | P_n | 구분 교량 | 허 용 응 력 | |
|---------|--------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | | 정 상 통 과 | 주 의 통 과 |
| 실 측 시 | $\frac{m_a - m_{DL}}{K'(1+i)}$ | $\frac{m_a - m_{DL}}{C_L(1+i)K'}$ | R.C. 교 | $\sigma_{ca} = 0.6\sigma_y$ | $\sigma_{ca} = 0.7\sigma_y$ |
| 외 관 조 사 | $\frac{m_a - m_{DL}}{1+i}$ | $\frac{m_a - m_{DL}}{C_L(1+i)}$ | | $\sigma_{ca} = 0.5\sigma_{ck}$ | $\sigma_{ca} = 0.6\sigma_{ck}$ |
| | | | 강 형 교 | $\sigma_b = 0.6\sigma_y$ | $\sigma_b = 0.7\sigma_y$ |

영향계수 C_L 은 設計規準에 규정된 荷重分配公式를 이용하여 電算解析에 의해 합리적으로 구하기만 하면 表 5의 供用戰車 荷重 P_n 계산공식에 C_L 을 代入하므로써 현재의 계산도표를 이용하는 供用戰車 荷重 計算方法을 대체할 수 있다고 판단된다.

6. 適用 및 分析

本 研究에서는 前節에서 提案된 供用戰車 荷重 計算方法과 信賴性指數 β 에 의해 橋梁의 安全度를 評價하는 方法의 적용가능성을 검토하기 위하여, 대표적인 실제의 교량을 선정하여 前述한 方法들을 실제 적용하여 그 결과를 분석 고찰하였다.

6.1 信賴度 計算例

여기서는 대표적으로 선택된 각 교량에 대하여 특정 戰車 通過에 대한 교량의 信賴度 解析 結果를 檢討分析하였다.

Rackwitz-Fiessler 알고리즘을 이용한 AFO-SM 信賴性方法에 의해 계산된 β 로부터 前節 3.2에 신뢰도 평가방법 지침에 따라 각 차량 통과에 대한 安全여부를 검토하였으며 이들 결과는 다음 表 6에 나타난 바와 같다. 表 6에서 보면, 상조천교(I형교)의 경우 모든 통과차량에 대해 $\beta \geq 2.5$ 이므로 정상통과가 가능하고, 구밀교(R.C 슬래브교)의 경우에는 $\beta = 2.26$ 으로 $1.5 \leq \beta < 2.5$ 가 되므로 주의통과가 가능하다고 판단할 수 있다. 그런데 대야교(R.C.T형교)에서는 戰車 통과시의 β 는 1.0보다 더 낮은 값인

表 6. 各 교량별 신뢰도 평가

| 교 량 명 | 준공년도 | 적용도부 도 (%) | 신뢰도 (β) | 평 가 비 고 |
|------------------|------|---------------|--------------------|--------------|
| 대 야 교 (T형교) | 1927 | 85 | 0.75 | 통과불가 우회조치 |
| 구 밀 교 (슬래브교) | 1977 | 90 | 2.26 | 주 의 통 과 |
| 상 조 천 교 (I형교) | 1962 | 85 | 3.21 | 정 상 통 과 |

表 7. 供用戰車 荷重에 대한 計算結果 比較

(정상/주의, 단위:톤)

| 교 량 명 | 조사방법 | 현행 NATO 방 법 | 계산도표방법 | | | 해석적방법 | | |
|--------------------|------|----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-----|
| | | | L F | R D | WSD | L F | R D | WSD |
| 대 야 교 (T 형 교) | 실측조사 | 20/32 | 25/29 | 21/28 | 35/41 | 26/34 | | |
| | 외관조사 | — | 24/28 | 19/25 | 30/39 | 24/32 | | |
| 구 밀 교 (슬래브교) | 실측조사 | 38/57 | 46/58 | 45/56 | 47/56 | 37/45 | | |
| | 외관조사 | — | 43/58 | 45/56 | 47/56 | 37/45 | | |
| 상 조 천 교 (I 형 교) | 실측조사 | 40/68 | 50/62 | 49/60 | 70/85 | 68/83 | | |
| | 외관조사 | — | 41/51 | 41/50 | 68/88 | 60/72 | | |

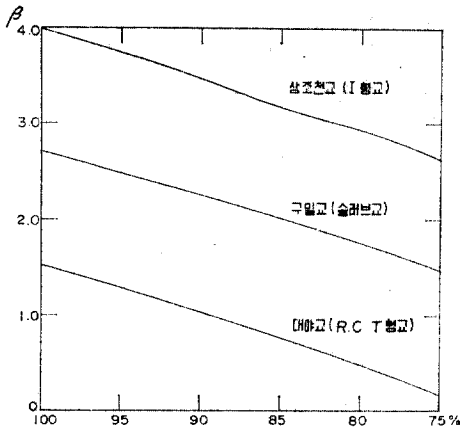


그림 1. 실단면의 노후상태에 따른 β 변화

0.75이므로 보강 보수 후 특별시행으로 통과시키거나 또는 기동로의 우회조치를 취해야 할 것으로 판단된다.

그림 1은 위의 교량들에 대해서 군용 전차를 통과시켰을 때 實斷面의 老朽程度에 따른 β 의 變化를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 각 차량 모두 老朽狀態에 따라 β 는 대단히 예민하게 變化한다. 특히 R.C T桁橋의 경우 老朽되지 않았을 때의 β 는 1.52로 注意通過는 가능하다고 보았으나, 老朽度를 고려하여 實斷面의 抵抗모멘트 감소율이 약 85% 以下로 되는 경우에는 β 가 0.7 以下로 낮아지므로 이때에는 기동로의 우회조치를 시켜야 하게 된다.

따라서 橋梁의 供用戰車 荷重을 계산하기에 앞서 信賴性指數 β 에 의해 특정 戰車 通過에 대한 安全度 分析은 특정 軍用중차량에 대한 안전 여부를 판단하는 예비판단 지침으로 상당히 효율적임을 알 수 있다.

6.2 供用戰車 荷重 計算比較

여기서는 活荷重모멘트耐力 m_{LL} 을 前節에서 提案된 各조건별 計算公式에 의해 계산한 다음, 이를 기초로 하여 계산한 供用戰車 荷重을 現行 方法에 의해 계산된 供用戰車 荷重과 비교 분석하였다.

계산된 各교량별 供用戰車 荷重은 다음 表 7에 나타내었다. 表 7에서 보면 각 교량의 조건별 供用戰車 荷重은 現行 NATO 급수계산 方法

에 의한 供用荷重과 本 研究에서 提示한 荷重—抵抗係數法 및 許容應力法에 의한 供用荷重은 상당한 差異를 나타낼 뿐 아니라 現行 方法에 의한 供用戰車 荷重 計算公式는 實耐荷力과는 거리가 먼 너무 安全側 結果를 나타낸다. 한편 許容應力法에 의해 供用戰車 荷重을 계산할 경우에는 荷重—抵抗係數法에 의한 계산결과보다 다소 安全側의 結果를 나타내지만 現行 方法보다는 훨씬 더 무거운 중차량을 통과시킬 수 있음을 알 수 있다.

7. 結 論

1) 現行 NATO 級數計算方法에 의한 供用戰車 荷重 計算方法은 재래적인 許容應力法에 의존하여 安全率을 불합리하게 사용하고, 교량의 실제상태나 老朽度를 체계적으로 반영하지 않을 뿐 아니라 지나치게 略式應力解析方法에 의존하므로 戰車 通過에 대한 實耐荷力 判定方法으로 는 사용할 수 없다는 것을 알 수 있다.

2) 本 研究에서 提案하는 信賴性方法에 基礎한 耐荷力 判定方法은 교량의 老朽度와 각종 不確實量을 체계적으로 반영한 實耐荷力 評價手段으로서 現行 規準을 대치하여 戰車와 같은 차량 통과시의 實際耐荷力 判定에 활용될 수 있음을 알 수 있다.

3) 특정 戰車 通過에 대한 安全度 分析은 간단한 2次모멘트 구조진퇴성해석에 의해 安全指數를 계산하므로써 가능하며, 信賴性指數에 따라 橋梁의 安全度와 定常通過 및 注意通過 또는 우

회 등의 의사결정에 효과적으로 이용할 수 있다고 본다.

4) 本 研究에서 提案한 構造信賴性方法은 耐荷力 評價規準의에도 軍用橋梁 또는 防護構造物 設計規準 개발에도 效果의으로 利用될 수 있으리라 기대된다.

參 考 文 獻

1. Cho, Hyo-Nam, "Reliability-Based Safety Assessment and Rating of Road Bridges", *Proceedings of the US-Korea Joint Seminar/Workshop on Critical Engineering System*, Vol. 1, may 1987, Seoul, Korea
2. Ellingwood, B. et. al, "Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58" NBS SP-577, June 1980.
3. Hasofer, A.M. and Lind, N.C., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format", *Journal of Engineering Mechanics Div., ASCE*, Vol. 100, No. EM1, Feb. 1974, pp.111~121.
4. Medsen, H.O., Krenk, S., Lind, N.C., "Method of Structural Safety," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1986.
5. "Manual of Steel Construction; Load and Resistance Factor Design", AISC, First Edition, 1986.
6. *Military Fixed Bridges*", TM 5-312, U.S. Army, 1968.
7. Rackwitz, R. and Fiessler, B., "Structural Reliability under Combined Random Load Sequences", *Computers & Structures*, Vol. 9, 1978, pp.489~494.
8. "Rationalisation of Safety and Serviceability Factors in Structural Code", *CIRIA Report* No. 63, London, 1977.
9. Thoft-Christensen, P. and Baker, M., "Structural Reliability Theory and Its Applications", Springer-Verlag, Berlin, 1982.
10. 趙孝男, 張東一, 申載喆, "確率이론에 基礎한 철근콘크리트 強度設計規準" 대한토목학회논문집, 제 6 권 제 4 호, 1986.12. pp.1~8.
11. "橋梁 耐荷力 調査" 건설부 국립시험소, 1985.12. (接受: 1987. 12. 7)