

Segmental PC 박스거더교의 검증재하시험 및 건전성평가

Proof Load Test and Integrity Assessment of Segmental PC Box-girder Bridges

조 효 남*
Cho, Hyo-Nam

임 중 권**
Lim, Jong-Kwon

옥 승 범***
Ok, Seung-Beom

지 광 습***
Zi, Goang Seup

ABSTRACT

This study is intended to propose practical but systematic and rational approaches for proof load test and integrity assessment of segmental PC box-girder bridges. The proposed models cover the whole range of field tests and assessment such as inspections, nondestructive tests, static and dynamic load tests, structural analysis, and integrity assessment for the evaluation of load carrying capacity, serviceability, and durability of PC box-girder bridges. They are applied to a newly constructed precast segmental PC box-girder bridge which is a part of the Seoul interior circuit elevated expressway.

1. 서 론

교량은 건설의 초기 단계에서부터 장기적인 유지관리를 위해 노후화에 대한 점검 및 진단에 지속적으로 실시하는 것이 중요하며, 이로부터 정거적인 구조물의 안전도 및 내하력, 내구성평가 그리고 사용성평가 등 건전성을 평가하고 구조물의 기능을 유지하고 보존하여야 한다. 따라서 본 논문의 목적은 체계적이며 합리적이고 실용적인 PC 박스거더교의 검증재하시험 및 건전성평가 모델을 개발하는데 있다. 외관조사, 비파괴시험 뿐만 아니라 정동적재하시험, 구조해석 및 건전성평가 등의 광범위한 모델을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 검증재하시험 및 건전성평가 모델을 현재 건설중인 내부순환도시고속도로 중 PSM(Precast Segmental Method)공법에 의해 가설되어 1995. 9. 15 개통된 성산대교 복단에서 홍은동간의 북부도시고속도로 1 공구 상부구조의 PC 박스거더의 일부 구간(그림 1 참조)에 적용하였다.

2. 조사·시험내용의 총괄

본 연구의 기간은 1995. 5~1995. 6의 2개월(총 60일)간이었다. 표 1에는 본 연구를 위한 조사·시험내용의 총괄을 나타내었다.

표 1. 시험총괄

시험종류	측정항목	분석항목
외관조사	·콘크리트균열,	·균열폭, 균열심도, 균열도작성
비파괴시험	·콘크리트비파괴시험	·콘크리트 강도조사
정적재하시험	·콘크리트변형을, 처짐	·용담비 ·정적거동의 초기치
동적재하시험	·상부구조 가속도, 동적처짐, 동적변형을	·동적용담특성

* 한양대학교 토목·환경공학과 교수
 ** 한양대학교 토목공학과 박사과정
 *** 한양대학교 토목공학과 석사과정

3. 조사·시험

3.1. 외관조사 및 비파괴시험

외관조사의 주된 항목은 가설공법과 연관되어 발생된 것으로 보이는 상부슬래브 하면의 전반적인 미세균열과 일부 구간의 국부적으로 발견된 사인장균열이었다. 따라서 본 연구의 외관조사는 균열도작성, 균열경, Pundit Test에 의한 균열심도를 측정하는데 주안점을 두었다. 상부슬래브의 최대균열폭을 갖는 곳을 약 12곳을 선택하여 조사한 결과 평균 0.14mm 정도였다. 한편, 사인장균열중 큰곳 3곳을 측정한 결과 평균 0.17mm 정도였다.

비파괴시험은 콘크리트의 강도추정을 위해 실시하였다. 반발경도법과 초음파탐상법을 병행하여 실시하였으며 95%신뢰도를 갖는 특성강도를 추정하였다. 추정강도는 450kg/cm^2 로서 공교롭게 설계기준강도와 같았다. 구조해석 및 건전성평가기 적용한 탄성계수는 $15000\sqrt{\sigma_{\alpha}}$ 로 계산하였다.

3.2. 정적재하시험

공용전 구조물의 검증재하시험(Proof Load Test)의 한 방법으로, 정적하중에 의한 초기변위와 초기응력을 획득하고, 현재상태의 내하력을 판단하는 기초자료를 획득하기 위하여 본 시험을 실시하였다. 계측대상경간인 MP73-74, 81-82, 85-86 남·북측 구간에 대하여 차량재하시 변위계와 변형을 게이지를 이용하여 정적변위와 정적변형률을 측정하였다. 그림 2는 정적재하시험을 위한 게이지 부착위치를 나타내고 있다. 변위계는 피아노선을 통해 교량하부에서 계측하였다. 그림 3은 처짐과 응력에 대한 실측치와 해석치를 비교한 일례를 그래프로 나타낸 것이다.

3.3. 동적재하시험

공용전 구조물의 검증재하시험의 한 방법으로 동적하중에 의한 구조물의 고유진동수 및 동적변위를 획득하고, 내하력평가기 기초자료로 활용할 뿐 만 아니라, 향후 건전도평가를 위한 기본적인 초기자료로써 이용하기 위하여 본 시험을 실시하였다. 변위계는 정적변위계 부착위치 중 D2, D4를 선택하여 Ring Type 변위계로 측정하였다. 그림 4는 가속도계의 센서부착위치를 나타내었다. 그림 5와 6은 속도별 충격계수와 고유진동수 분석의 일례를 나타낸 것이다.

4. 구조해석모형

본 연구에서는 검증재하시험 및 건전성평가를 위한 상부구조의 구조해석모형은 크게 두가지로 나누어서 실시하는 것을 제안하였다.

거더교량에 대해서는 일반적으로 구조물의 건전도 및 안전도를 평가할 때에는 단순한 보모델이나 격자해석모델을 사용한다. 그러나 이러한 경우 근사적인 해석은 가능하지만 박스거더교와 같이 상부택이 박스거더 주형보다 더 지배적인 구조물에 대해서는 상부슬래브의 국부거동분석이 필수적이다. 따라서 박스거더교에 대한 구조해석모형을 다음과 같이 1)단일거더모델 2)부분임플FEM 해석모델로 나누어서 수행하였다.

5. 건전성평가 모형

건전성평가란 외력에 대한 구조물의 처짐, 진동, 균열 등의 응답을 기초로 신설 또는 기존 구조물의 내하력, 사용성, 내구성의 수준을 평가하여 구조수명간에 설계하중의 작용하에 구조물의 공용성을 확보할 수 있는지의 여부를 판정하는 것으로 정의할 수 있다.

본 연구에서는 건전성평가를 위한 이들 모든 항목에 대한 정량적 평가 모형을 체계적으로 정립하여 실제 교량에 적용하였다.

5.1. 내하력 및 안전성평가 모형

5.1.1. 내하력평가 모형

본 과업의 대상구조물과 같은 PC구조물의 내하력평가는 실질적으로는 휨·전단·비틀림에 대한 조합하중을 받는 경우에 대한 내하력평가가 더 엄밀한 방법이지만 현재의 내하력평가 기준식으로는 이러한 조합상관력에 대한 평가가 어려우며, 최근 신뢰성해석에는 이러한 조합상

관력을 동시에 고려한 평가에 대한 연구가 진행 중이다. 따라서 기존의 기준식에 의한 내하력 평가방법 중 강도설계법에 기초를 둔 재래적인 극한강도판정법과 실용담비를 명시적으로 포함시킨 개선된 극한강도판정법을 기본적으로 적용하였다. 식 (1), (2)에 개선된 사용응력판정식과 극한강도판정식을 나타내었다. 그러나 국내외적으로 PC 구조물의 주형 설계가 아직까지도 허용응력설계법을 기본으로 하고 있는 실정이기 때문에 유효프리스트레스에 의한 응력항을 명시적으로 포함시킨 허용응력설계법에 기초한 재래적인 사용응력판정법과 개선된 사용응력판정법을 적용하였다.

$$RF = \min \text{ of } \begin{cases} RF_{ia} = \frac{\sigma_a + \sigma_{ps} + \sigma_{pm} - \sigma_d}{K_s(1+i)\sigma_l} & (\text{인장연단}) \\ RF_{ca} = \frac{\sigma_a + \sigma_{pm} - \sigma_{ps} - \sigma_d}{K_s(1+i)\sigma_l} & (\text{압축연단}) \end{cases} \quad (1)$$

$$RF = \frac{P_n}{P_r} = \frac{\varphi R_n - \gamma_d S_d}{\gamma S_l K_s(1+i)} \quad (2)$$

여기서, RF_{ia} , RF_{ca} = 각각 콘크리트의 인장 및 압축연단의 내하율, σ_a = 콘크리트허용응력; σ_{ps} = 유효프리스트레스에 의한 축방향응력; σ_{pm} = 유효프리스트레스에 의한 휨응력; σ_d = 사하중에 의한인장 또는 압축연단의 휨응력; σ_l = 설계활하중에 의한 인장 또는 압축연단의 휨응력; R_n = 공칭휨강도; S_d = 공칭사하중효과; S_l = 공칭 활하중효과; K_s 는 실용담비; i = 충격계수를 나타낸다.

이때, φ , γ_d , γ_l 등은 저항 및 하중관련 안전모수들로서 실용성을 고려하여 강도설계법을 채택하고 있는 도로교표준시방서의 안전규정에 따라 φ 은 휨에 대해서는 0.85, γ_d 는 1.3 γ_l 는 2.15를 사용하였다. 즉 앞선 재래적 방법과 결과적인 차이점은 응답비 K_s 를 고려하고 있다는 점이다.

한편, 전단에 대해서는 사용응력판정법을 적용하지 않았고 극한강도판정식에 의해서만 실시하였다. 그 이유는 RC 구조물의 현행시방서의 전단에 대한 설계가 강도설계법을 기본으로 하고 있을 뿐 만 아니라 사용응력판정법 자체가 PC교량의 경우 실보유전단내하력을 추정하는데는 적합치 않기 때문이다.

5.1.2. 신뢰성 평가 모형

한편 내하력평가의 수준과 비교하고 교량의 실제 안전 수준을 평가하기 위해서 신뢰성해석과 공칭안전율을 계산하였다. 신뢰성해석은 기본적인 AFOSM알고리즘[Ellingwood, 1980]을 사용하였고 신뢰성 지수에 대응하는 공칭안전율은 5.1.3의 식(5)에 의해 계산하였다.

신뢰성해석을 위한 한계상태방정식은 휨, 전단 및 비틀림 등 조합하중을 받고 있기 때문에 실질적으로는 조합상관식에 의한 모형이 더 바람직하지만 현재 이 부분에 대해서는 본 연구를 중심으로 연구중에 있으며 본 건전성평가모형은 실용적인 선형한계상태모형인 다음 식으로 설정하였다[조효남, 1995].

$$G(\cdot) = R - (S_D + S_L) \quad (3)$$

여기서, R 은 실저항효과, S_D 는 사하중효과, S_L 은 실활하중효과를 나타낸다. 휨 및 전단저항강도는 도로교표준시방서식을 기준으로 하였다. 휨저항강도의 파괴시 PC 강재의 응력인 σ_{ps} 는 변형률 적합법을 사용하였고 이때 적용한 PC강재의 응력-변형률선도는 CEB-FIP Model Code[CEB, 1983]의 모델을 적용하였다.

구조신뢰성은 파괴확률에 의해서 개념적으로 추정되고 수치적으로 평가될 수 있지만, 실제적으로는 구조요소나 시스템의 상대적인 보유안전율은 신뢰성지수 β 에 의해서 가장 잘 표현될 수 있다. 한편, 파괴확률 P_f 와 신뢰성지수 β 의 관계는 다음과 같다.

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_F) \quad (4)$$

여기서, P_F = 파괴확률; Φ^{-1} = 표준정규분포함수의 역함수를 나타낸다.

5.1.3 안전성 평가 모형

신뢰성해석을 통해 산출된 신뢰성지수 β 를 이용하면 공칭안전율 n' 를 식 (17) 같이 구할 수 있다.

$$n' = \frac{\eta_S}{\eta_R} \exp[\beta \sqrt{(V_R^2 + V_S^2)}] \quad (5)$$

여기서, η_R, η_S = 저항 및 하중의 평균공칭비; V_R, V_S = 저항 및 하중의 변동계수를 나타낸다. 이와 같이 산출된 공칭안전율은 허용응력설계법에서 사용하는 재료안전율과는 달리 하중과 저항의 불확실량과 구조물의 실제상태를 고려한 실질적 안전율로서 실무자가 이해하기 쉬운 구조안전도의 개념으로 사료된다.

5.1.4 통계적불확실량

신뢰성해석에서는 저항 및 하중관련 랜덤변량들의 불확실량을 합리적으로 추정하는 것이 매우 중요한 문제이다. 따라서 통계적 불확실량에는 구조안전도에 영향을 미칠 수 있는 모든 것들이 포함되어야 하는데, 여기에는 표본자료의 통계적해석에 관한 변동량 뿐 아니라 모델링오차, 불확실한 정보로 인한 오차등이 있을 수 있다. 그러나 재료강도와 하중변수를 제외하고는 관련데이터의 부족으로 인하여 본 논문에서는 국내외의 관련문헌[Ellingwood and others, 1980; Shin and others, 1989]을 종합판단하여 통계적 불확실량을 추정하였다[삼성건설, 1995].

5.2. 사용성평가 모형

사용성평가는 교량의 공용성을 저해하는 유해한 처짐, 파진동 등 당초의 설계목적상 구조기능을 만족시키는지의 여부를 평가하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 처짐과 파진동의 항목에 대한 사용성평가를 위한 합리적인 방법을 체계화하여 제안하였다.

1) 처짐

교량구조물의 휨부재의 처짐제한에 따라 처짐한계를 시방서에 규정되어 있는 허용처짐량으로 정하여 다음식에 의거 처짐에 의한 사용성을 평가할 수 있도록 제안하였다. 이는 실제 박스주형중 캔틸레버부의 처짐이 중앙부보다 더 크므로 실제 처짐 검토 부위는 캔틸레버부가 되어야 하며 처짐의 실용답 K 와 실충격계수 i 가 고려되어야 한다.

$$\text{처짐에 대한 안전율} = \frac{\text{허용처짐}}{\text{설계사용활하중에 의한 처짐}} = \frac{\Delta_a}{K_d \Delta_n (1+i)} \quad (6)$$

여기서 Δ_a = 허용처짐량, Δ_n = 공칭활하중에 의한 처짐, K_d = 처짐응답비, i = 충격계수이다. 한편, 설계사용활하중이란 하중계수를 곱하지 않은 하중을 의미한다.

2) 진동

진동은 보통 PC교에서 부차적인 중요성을 가진다. 따라서 사용성에 있어서 진동해석은 특별한 경우 예를들어 매우 날씬한 교량이나 보행용이 고려되고 매우 큰 중량의 하중을 받는 교량을 제외하고는 취급되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 구조물의 진동에 의한 사용성평가를 참고로 제안하였다. 구조물의 진동에 대한 정량적인 평가의 대표적인 방법이 민감도계수(sensitivity factor K)를 계산하여 추정하는 방법이다[C. Menn, 1990]. 한편 캐나다 OHBD Code[1983] 진동수와 설계처짐과의 함수로 된 설계기준 그래프를 이용한 평가를 동시에 수행하여 진동특성을 비교하였다.

5.3. 내구성평가 모형

내구성평가는 구조물이 처해있는 환경조건에 대한 조사와 비파괴시험에 의한 균열, 철근부식 등 열화손상 조사를 바탕으로 환경외력에 대한 저항능력을 평가하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 균열에 주안점을 두어 평가하는 실용적인 방법을 체계화하여 제안하였다. 균열이 발생되지 않은 콘크리트 단면에 대한 간접적인 내구성평가방법과 균열이 기발생된 단면의 내구성을 평가하는 직접적인 방법의 두가지 측면에 대해 기존의 제안식을 체계화하여 제안하였다.

5.3.1. 간접적인 방법

1) 사용응력평가방법에 의한 내하력평가결과 이용법

이 방법은 앞선 내하력 판정식(1)의 사용응력판정식중 콘크리트의 인장응력에 대한 내하력평가 결과로부터 콘크리트의 균열에 대한 내구성을 간접적으로 판단하는 방법이다. 기준식은 식(1)의 사용응력판정법을 모두 사용할 수 있다.

2) 균열발생안전율에 의한 방법

① 균열모멘트에 의한 방법

평균균열을 일으키는 모멘트는 엄밀하게는 인장측 콘크리트의 소성을 고려하여 계산하는 것이 바람직하지만 계산이 복잡하므로 보통 균열이 발생할 때까지 콘크리트를 완전탄성체로 가정하고, 프리스트레스트력과 사하중 및 활하중에 의한 콘크리트인장연단의 합성응력이 콘크리트의 휨인장강도(파괴계수)에 이르렀을 때 균열이 발생한다고 보고 근사적으로 계산하는 것이 보통이다. 균열안전율은 일반적으로 활하중에 대하여 다음과 같이 정의 된다. 기존의 균열안전율식에 실용담비 K_s 및 실충격계수 i 를 고려한 개선된 식임을 주지하여야 한다.

$$F_{cr} = \frac{M_{cr} - M_d}{M_l K_s (1+i)} \quad (7)$$

여기서, M_{cr} = 균열모멘트; M_d = 사하중모멘트; M_l = 활하중모멘트를 나타낸다.

2) 응력에 의한 균열발생 안전율 평가

균열모멘트란 콘크리트 휨부재에서 인장측의 응력이 콘크리트의 파괴계수에 이를 때 균열이 발생한다. 따라서 활하중에 대한 균열발생안전율은 다음과 같다. 균열모멘트 평가방법과 마찬가지로 실용담비인 K_s 와 실충격계수인 i 를 고려한 개선된 식임을 주지하여야 한다.

$$F_{cr} = \frac{\sigma_m - \sigma_d(t)}{\sigma_l K_s (1+i)} \quad (8)$$

여기서, σ_m = 콘크리트 인장파괴계수; $\sigma_d(t)$ = 사하중 및 기타 지속하중(건조수축, 크리프 등)에 의한 응력; σ_l : 활하중에 의한 응력을 나타낸다.

5.3.2 직접적인 방법

콘크리트 단면에 균열이 기발생되었을 경우 5.3.1절에서 제안한 방법은 균열발생원인을 추정하는 식으로서도 사용가능하며 직접적인 내구성평가를 위해서는 허용균열폭과 비교하여야 한다. 본 연구에서는 상판슬래브에 발생된 균열에 대하여 시방서에 규정된 철근응력제한에 의한 방법과 참고문헌을 바탕으로 합리적이라 판단되는 균열폭에 의한 내구성평가 방법을 체계화하고 개선된 식으로서 제안하였다.

1) 철근의 인장응력에 의한 평가

균열단면에 대하여 탄성이론으로 계산한 철근의 인장응력이 사용하중하에서 허용치를 만족하는가를 평가해야 하며 도로교시방서식에는 인장부 철근의 응력이 다음식의 σ_{sa} 를 초과하지 않아야 한다는 간접적인 방법으로 제한하고 있다[도로교시방서, 1992].

$$\sigma_{sa} = \frac{Z}{(d_c A)^{1/3}} \quad (9)$$

여기서, A = 주인장철근 주위의 콘크리트 단면적을 철근이나 철선의 개수로 나눈 유효인장단면적; d_c = 인장연단에서 이 연단에 가장 가까이 있는 철근의 중심까지의 콘크리트 덮개의 두께; Z = 휨철근의 분배를 제한하는 수량(보통정도의 내노출상태의 부재에 대하여 30,350 kg/cm, 심한 외노출상태의 부재에 대하여 23,170 kg/cm)을 나타낸다.

따라서 철근응력제한에 의한 내구성 안전율 n_{crs} 은 실용답을 고려하여 개선시킨 다음 식과 같이 된다.

$$n_{crs} = \frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{sd} + K\sigma_{sl}(1+i)} \quad (10)$$

2) 균열폭에 의한 평가

균열폭에 의한 내구성평가는 균열단면에 대하여 탄성이론으로 계산한 철근의 인장응력에 의하여 추정된 균열폭이 사용하중하에서 허용치를 만족하는가를 평가해야 한다. 본 과제에서는 균열폭 산정에 의해 다음과 같은 식을 적용하여 수행하였다. 여기서 균열폭에 의한 평가시 무재하시의 균열폭은 사하중 및 기타 건조수축 *creep*에 의하여 유지됨을 의미하므로 허용균열에 대한 안전율 n_{crw} 은 다음과 같이 된다.

$$n_{crw} = \frac{W_a}{W_D + KW_L(1+i)} \quad (11)$$

여기서 W_a = 허용균열폭; W_D = 사하중 및 건조수축등 지속하중에 의한 균열폭; W_L = 활하중에 의한 균열폭; K_c = 균열응답비; i = 충격계수를 나타낸다.

윗식은 현재 규준식으로 규정되어 있지 않지만 최근의 여러 연구결과[이승재, 1994]를 통해 제안된 식으로 실제 균열폭 및 균열에 대한 실용답을 고려한 합리적인 식이라 판단된다. 이때 활하중에 의한 균열폭은 시방서에 제시된 Gergely & Lutz 제안 ACI시방서에 채택된 다음 식을 이용하여 직접 계산할 수 있다.

$$W = 1.081R\sigma_s \sqrt[3]{Ad_c} \times 10^{-6} \quad (12)$$

여기서 w = 균열의 최대폭(cm); σ_s = 강재의 인장응력(kg/cm²); d_c = 인장축 표면에 가장 가까운 강재의 도심으로 부터 인장축 표면까지의 거리(in); R = 중립축에서 인장철근 중심까지의 거리에 대한 중립축에서 인장축 외단까지의 거리의 비 $R = h_2/h_1$ (보통 1.2); A = 콘크리트의 유효 인장 단면적(강재의 도심과 동일한 도심을 가지는 강재 둘레를 콘크리트 단면적)을 철근의 수로 나눈 값을 의미한다.

6. 건전성평가 결과 및 고찰

6.1 내하력 및 안전성

다음 표 2에 본 연구에서 제안한 내하력 및 안전성평가 모형을 적용하여 구한 내하력 및 안전성평가 결과를 정리하여 나타내었다. 이 결과는 바닥판 및 켈틸레버의 내하력 및 안전성평가결과로서 박스주형에 대해서는 내하율이 최소한 활하중의 2.5배 이상으로서 매우 안정적인 결과를 얻어 여기에서는 제시하지 않았다. 본 적용대상교량 전반적으로 소요내하력, 신뢰성지수, 공칭안전율을 상회하므로 내하력 및 안전성을 충분히 만족함을 알 수 있다.

표 2. 실보유 내하력 및 안전성평가

구분	내하력				신뢰성 지수		공칭안전율	
	내하율		공칭내하력 Pn		β		n	
	보유	소요	보유	소요	보유	소요	보유	소요
MBR 7	1.16	1.0	DB27.8=50ton	DB24=43.2ton	3.53	3.0	2.29	2.0
MBR 8	1.27		DB30.5=55ton		3.82		2.40	
MBR 9	1.16		DB27.7=50ton		3.55		2.30	

6.2 사용성

표 3에 본 연구에서 제안한 모델을 적용하여 얻은 사용성평가결과를 요약하여 제시하였다. 쉐들레버부의 처짐에 의한 사용성평가결과 안전율이 3.21로서 충분히 만족함을 알 수 있음을 알 수 있다.

표 3. 처짐에 대한 평가

대상부위(전교량)	허용처짐(mm)	설계하중에 의한 실처짐(mm)	안전율
쉐들레버	10.0	3.116	3.21

한편 그림 8은 OHBD code와 비교한 것이다. 보행자용인 경우 한계치를 넘어서 진동이 심함을 알 수 있었다. 민감도계수 K를 구하여 검토하여 보아도 사람에게는 매우 불편한 진동을 보임을 알 수 있었다. 그러나 본 대상구조물이 자동차전용도로이기 때문에 OHBD code의 결과를 보아도 알 수 있듯이 사용성에는 큰 문제가 없는 것을 알 수 있다.

6.3 내구성

간접적인 방법은 박스주형에 대해서만 적용하였고 직접적인 방법은 상부슬래브에 적용하였다.

6.3.1 간접적인 방법

1) 내하력평가결과에 의한 방법

박스주형에 대해서는 사용용력평가법에 의한 내하율이 2.5이상으로 인장연단에 균열이 발생하지 않음을 알 수 있고 이는 박스주형의 인장연단 콘크리트의 내구성이 매우 양호함을 간접적으로 알 수 있다.

2) 균열모멘트에 의한 안전율

박스주형에 대해서는 균열모멘트에 의한 방법에 의해 안전율을 계산해 보면 대상교량 공허 3.7이상으로서 위의 내하력평가결과에 의한 방법과 부합하는 결과로서 박스주형의 하단부 인장측 콘크리트의 균열은 발생하지 않는 것을 의미하며 내구성이 매우 양호함을 알 수 있다.

6.3.2 직접적인 방법

1) 철근의 용력계산에 의한 내구성 평가

본 과업의 대상이 되는 북부도시고속도로 1공구 교량의 상판슬래브 하면의 균열에 대하여는 상판의 균열이 박스내부에 있으므로 시방서식의 내노출 기준을 적용하면 철근의 용력이 3035 kg/cm²을 초과하지 않도록 해야 한다. 철근의 허용용력을 기준으로한 균열안전율을 계산하면 철근의 인장허용용력에 의한 안전율이 1.71로서 상부슬래브의 내구성은 확보되어 있는 것을 알 수 있다.

2) 균열폭에 의한 내구성 평가

상부슬래브 중방향균열에 대하여 균열폭에 의한 방법으로 균열의 내구성 안전율을 계산하면 상부슬래브 균열이 슬래브하면 즉, 박스안에 발생되어 있기 때문에 허용균열폭을 현행 도로교시방서의 내노출 기준 z = 30350kg/cm에 의한 철근허용인장용력에 의해 허용균열폭으로 환산하여 적용하면 0.39mm이고 이에 대해 균열안전율을 평가하면 1.36으로서 따라서 균열폭에 의한 내구성평가에서도 내구성은 확보되고 있지만 철근인장용력제한에 의한 방법에 비하여 내구성 안전율이 작다.

상기의 두가지 평가방법 즉, 철근의 허용응력에 의한 평가방법에 의한 안전율 1.71과 균열 폭에 의한 평가방법의 안전율이 1.36으로서 결과에 다소 차이가 난다. 이 원인은 실제 사하중 상태에서의 균열폭이 교량의 자중 및 콘크리트의 건조수축과 크리프 등의 효과를 반영하고 있기 때문에 해석에서 구한 균열폭이나 철근의 응력보다 값이 크기 때문이다. 따라서 실제의 현장조사 및 시험에 의한 균열폭을 반영한 균열폭에 의한 평가방법이 철근응력에 의한 평가 방법보다 더 합리적인 평가방법으로 사료된다.

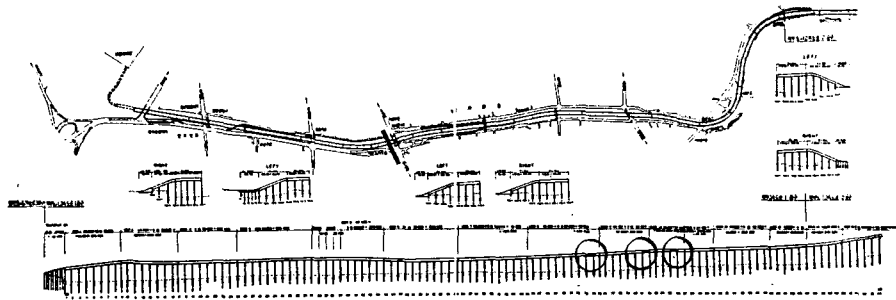
이 균열폭에 의한 내구성평가 방법은 향후 구조물의 유지관리시 보수·보강을 판단하는데 있어서 유용한 평가방법이라 사료된다.

7. 결론

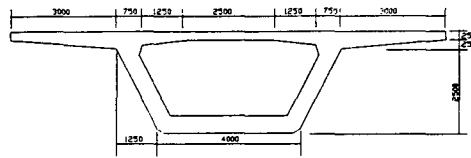
- 1) 본 연구에서는 Segmental PC 박스거더교의 체계적이고 합리적이고 실용적인 검증재하시험 및 건전성평가 모형을 제안하였다.
- 2) 건전성평가 모형은 내하력 및 안전성, 사용성, 내구성 평가를 공히 고려하는 모든 평가항목을 포함시켰다.
- 3) 본 검증재하시험 및 건전성평가 모형은 향후 활발히 진행될 것으로 보이는 주요구조물의 검증재하시험 및 건전성평가의 기본 모델로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 본 대상구조물은 위에서 제안한 합리적인 평가방법에 의해 내하력, 사용성 및 내구성의 모든 평가항목에서 모두 양호한 것으로 평가되어 개통에 문제가 없는 교량으로 평가되었다. 다만 상부 슬래브의 종방향 균열로 인한 내구성 저하에 대해서는 지속적인 모니터링 및 유지관리지침 주 관심사항으로 제안하였다.

8. 참고문헌

- Ellingwood, B., Galambos, T. V., MacGregor, J. C. and Cornell, C. A. (1980), "Development of a Probability-Based Load Criterion for the American National Standard A58," National Bureau of Standard SP-577, Washington D.C., June.
- Shin, J. C., Cho, H. N. and Chang, D. I. (1989), "A Practical Reliability-Based Capacity Rating of Existing Road Bridges," Proc. of JSCE, No. 398/I-10, Vol. 5, No. 2, pp. 245s-254s, Oct.
- AASHTO(1989), "Guide Specifications for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges," AASHTO
- HED(1983), "Ontario Highway Bridge Design Code," HED
- CEB(1993), "CEB-FIP MODEL CODE", CEB
- 건설부(1992), "도로교표준시방서", 건설부
- Menn, C(1986) "Prestressed Concrete Bridges," Springer-Verlag
- 벽산건설주식회사(1995), "신행주대교(PC박스거더구간) 재하시험 및 건전성평가", 1995. 4., 벽산건설주식회사
- 삼성건설주식회사(1995), "북부도시고속도로 1공구 상부구조 재하시험 및 건전성평가", 1995. 7., 삼성건설주식회사
- 이승재(1994), "고속철도 교량의 전산화 유지관리를 위한 신뢰성에 기초한 건전성평가 모형", 1994. 12., 한양대학교 대학원 박사학위논문
- 조효남, 신채철(1995), "R.C. 박스거더교의 체계신뢰성 해석 및 안전도 평가", Vol. 7, No. 3, 1995. 9, 한국콘크리트학회 논문집

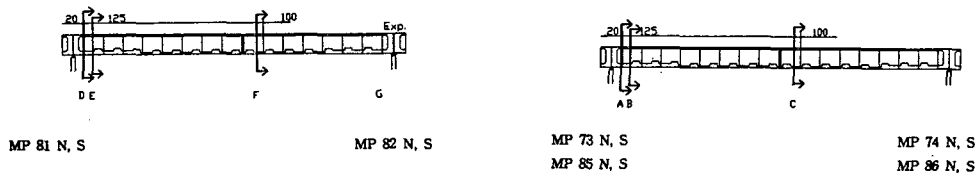


(a) 일반도



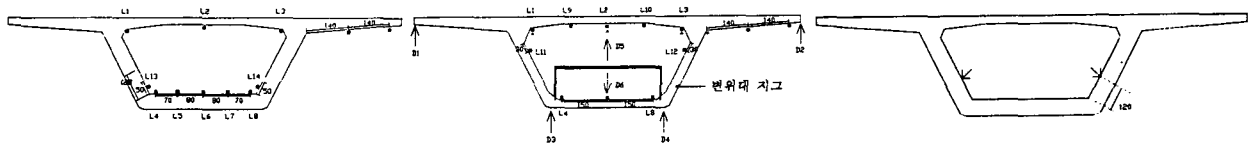
(b) 단면도(중앙부)

그림 1. 북부도시고속도로 1공구 Segmental PC Box-girder 표준도



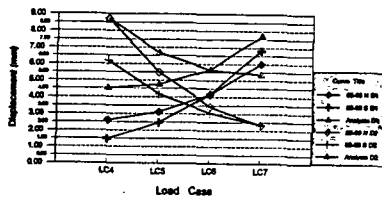
(a) 센서부착단면

그림 2. 센서부착위치(정적)(계속)

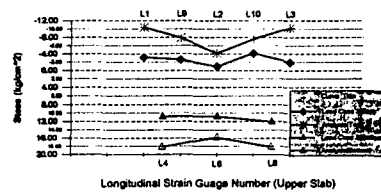


(b) 센서부착위치(A,D단면) (c) 센서부착위치(C, F단면) (d) 센서부착위치(B, E단면)

그림 2. 센서부착위치(정적)



(a) 처짐의 변화

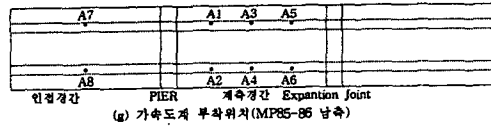


(b) 응력의 변화

그림 3. 실측치와 해석치의 비교



(a) 처짐계 및 변형율계이치



(b) 가속도계

그림 4. 센서부착위치(동적)

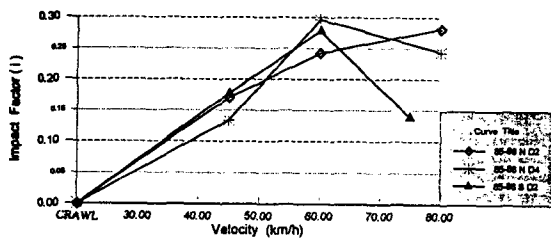


그림 5. 속도별 충격계수의 변화

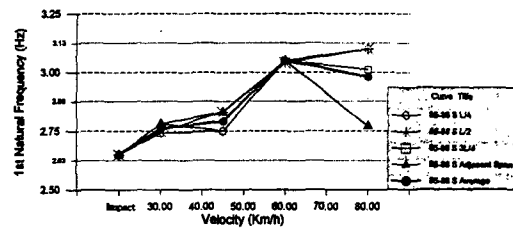
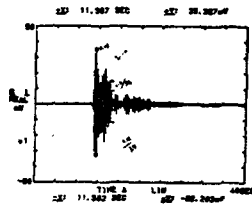
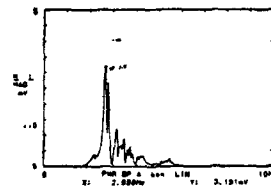


그림 6. 속도별 고유진동수의 변화



(a) 가속도파



(b) FFT 분석결과

그림 7. 가속도파 및 FFT 분석결과

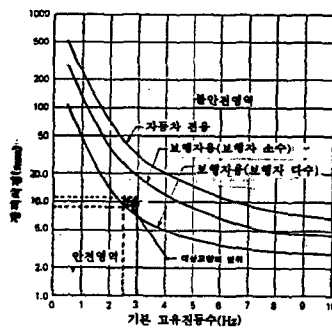


그림 8. OHBD code의 진동 기준곡선