

모멘트 재분배를 고려한 RC 슬래브교의 내하력 평가

Evaluation of Load Carrying Capacity of RC Slab Bridges Considering Moment Redistribution

김후승* 김대중** 염환석*** 김우****
Kim, Hu Seung Kim, Dae Joong Yum, Hwan Seok Kim, Woo

ABSTRACT

This paper describes a proposal for evaluation load carrying capacity of reinforced concrete slab bridges considering the moment redistribution. Recognition of redistribution of moments can be important because it permits a more realistic appraisal of the actual load-carrying capacity of a structure, thus leading to improved economy. In addition, it permits the designer to modify, within limits, the moment diagrams for which members are to be designed. The predicted results shows that moment redistribution are different from estimated by the current KCI, ACI 318-02, EC2 provisions, and propose reasonable load carrying capacity of the reinforced concrete slab bridge.

1. 서론

교량과 건물 등의 공용기간이 장기화됨에 따라 구조물의 안전성에 대한 사회적 우려가 높아지고 있다. 선진 외국에서는 교량이나 건물의 공용수명이 100년을 초과하는 경우가 많이 있으나, 국내의 경우 각각 약 26년 및 17년 정도로써 이에 따른 사회적, 경제적 손실이 엄청난 것으로 분석되고 있다. 이러한 공용수명의 차이는 구조물의 설계나 시공 등과 같은 기술적인 측면에서 오는 것도 있지만, 실제 교량이나 건물의 내하성을 평가하는 방법에서 발생하는 오류에 더 큰 원인이 있다. 즉, 내하력 평가 기술의 미비로 인해 구조물의 잔존강도(residual strength)를 제대로 평가하지 못하거나 과소평가하여 철거되거나 보강되는 사례가 증가하고 있는 것이다. 이와 같이 내하력이 과소평가되는 원인 중 하나로 내하력 평가시 모멘트 재분배를 고려하지 않는 점을 들 수 있다.

따라서 이 연구에서는 우리나라 콘크리트 구조설계기준¹⁾, ACI 318-02²⁾ 및 Eurocode 2³⁾의 모멘트 재분배 규정을 비교하고, 모멘트 재분배를 고려하여 RC 슬래브교의 내하력을 평가하고 비교 분석하여 합리적인 내하력 평가기법을 제안하는데 필요한 기초 자료로 제시하고자 하였다.

*정회원, 전남대학교 대학원 토목공학과 석사과정

**정회원, 전남도립 남도대학 토목환경과 부교수

***정회원, 광주대학교 건축공학부 교수

****정회원, 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

2. 모멘트 재분배 설계 규정

강도설계법에 의한 교량의 기본내하력은 내하율(rating factor;RF)과 설계활하중의 곱으로 나타낸다.

$$\text{기본내하력} = \text{내하율(RF)} \times \text{설계활하중(DB 또는 DL)} \quad (1)$$

내하율은 다음과 같다.

$$RF = \frac{\phi M_n - r_d M_d}{r_l M_l (1 + i)} \quad (2)$$

이 연구에서는 식(2)의 고정하중모멘트 M_d 와 활하중모멘트 M_l 의 산정에 모멘트 재분배를 고려해 보자 한다.

휨부재의 모멘트 재분배에 관한 각 설계규정을 표 1에 정리하였다. 강도설계법에 기초한 콘크리트 구조설계기준과 ACI 318-02는 연성 능력에 따라 모멘트 재분배량을 정하는데 반해 EC2는 중립축 깊이와 콘크리트 강도에 따라 모멘트 재분배량을 정하고 있음을 알 수 있다. 즉, 콘크리트 구조설계기준 단철근 보의 경우 ρ/ρ_b , 복철근 보의 경우 $\rho-\rho'/\rho_b$ 를, ACI 318-02는 콘크리트 압축면으로부터 가장 멀리 위치한 주인장 철근의 변형률 ϵ_t 를 회전 변형 능력 지수로 사용하고 있다. EC2는 x_u/d 비를 이용하여 모멘트 재분배량을 정하고 있으며, 콘크리트 강도가 증가되면 파괴시 변형이 작아져 소성 회전능력이 저감되므로 콘크리트 강도 f_{ck} 에 따라 모멘트 재분배 규정이 구분되어 있다.

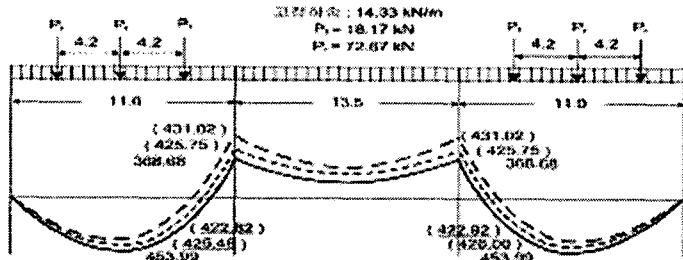
3. 3경간 연속교의 내하력 평가

3연속 RC 슬래브교에 대하여 모멘트 재분배에 따른 내하력 평가를 수행하였다. 본 대상교량에 최대 정·부모멘트를 유발하기 위해서, 외측 경간에 최대 정모멘트를 유발시키기 위해 최외측 경간에는 고정하중과 활하중을 작용시키고 내측 경간에는 고정하중만 작용시킨 경우(그림 1 (a) 참조), 내측 경간에 최대 정모멘트를 유발하기 위해 양외측 경간에는 고정하중만 작용시키고 내측 경간에는 고정하중과 활하중을 작용시킨 경우(그림 1 (b) 참조), 내부 받침점에서의 최대 부모멘트를 유발하기 위해 인접된 두 경간에 고정하중과 활하중을 재하하고 먼 쪽 외측 경간에는 고정하중만 재하한 경우(그림 1 (c) 참조)로 하중을 재하하였다.

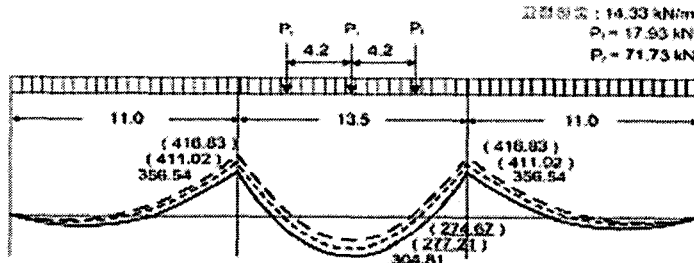
표 1 모멘트 재분배 규정

	콘크리트 구조설계기준	ACI 318-02	EC2
모멘트 재분배 조건	$(\rho - \rho')/\rho_b \leq 0.5$	$\epsilon_t \geq 0.0075$	$f_{ck} \leq 50\text{MPa} ; x_u/d \leq 0.25$ $f_{ck} \geq 55\text{MPa} ; x_u/d \leq 0.15$
모멘트 재분배 규정	$20[1 - (\rho - \rho')/\rho_b]$	$1000\epsilon_t$	$\delta \geq 0.44 + 1.25x_u/d ; f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ $\delta \geq 0.54 + 1.25x_u/d ; f_{ck} \geq 50\text{MPa}$
모멘트 재분배 범위	10~20%	7.5~20%	15~30%

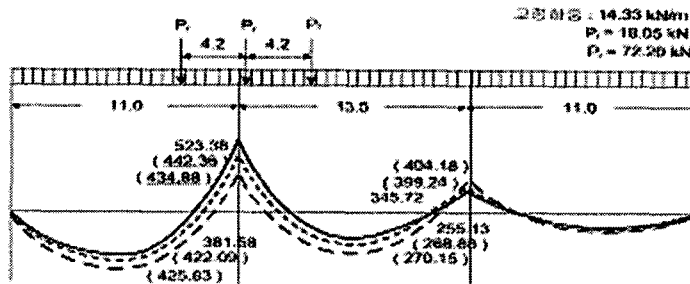
모멘트 재분배를 고려한 최대 휨모멘트를 그림 1에서 밑줄로 표시하였다. 또한, 모멘트 재분배 규정에 따라 기본내하력을 평가하여 표 2에 정리하였다.



(a) 외측 경간의 최대 정모멘트



(b) 내측 경간의 최대 정모멘트



(c) 지점부 최대 부모멘트

- ; 콘크리트 구조설계기준 모멘트 재분배 미고려
- ; 콘크리트 구조설계기준 모멘트 재분배 고려
- ; ACI 318-02 모멘트 재분배 고려

그림 1 모멘트 재분배에 따른 휨모멘트도

표 2 기본내하력 평가

구분	모멘트재분배 미고려			모멘트 재분배 고려					
				콘크리트 구조설계기준			ACI 318-02		
	외측경간	내측경간	지점부	외측경간	내측경간	지점부	외측경간	내측경간	지점부
ϕ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90
M_n (MPa)	821.05	821.05	821.05	821.05	821.05	821.05	821.05	821.05	821.05
M_d (MPa)	174.86	85.22	243.87	155.96	47.42	206.07	154.13	45.29	202.41
M_{I-i} (MPa)	283.33	222.89	279.51	269.50	229.79	236.29	268.69	229.38	232.47
δ (%)	0	0	0	15.5	15.5	15.5	17.0	17.0	17.0
R.F	0.772	1.225	0.634	0.85	1.288	0.846	0.93	1.379	0.952
기본내하력	DB-19	DB-29	DB-16	DB-21	DB-31	DB-20	DB-23	DB-33	DB-23
비교				11%증가	6%증가	25%증가	21%증가	14%증가	44%증가

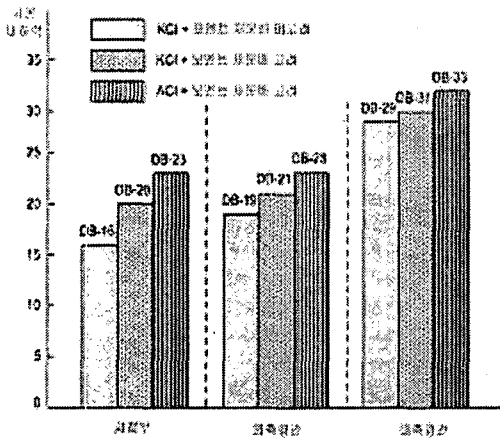


그림 2 각 경간에 따른 기본 내하력 평가

4. 결론

이 연구에서는 콘크리트 구조설계기준, ACI 318-02 및 EC2의 모멘트 재분배 규정을 비교하고, 3경간 연속 RC 슬래브를 대상으로 모멘트 재분배에 따른 기본 내하력을 평가해 보았다. 모멘트 재분배를 고려하지 않았을 경우에는 기본내하력이 DB-16이지만, 콘크리트 구조설계기준, ACI 318-02 규정에 따라 모멘트 재분배를 고려하면 각각 DB-20과 DB-23로 평가되어 각각 25%와 44%의 내하력이 증가하였다. 합리적인 내하력 평가를 위해서는 기존의 안전성 평가 기준에 모멘트 재분배 개념을 도입한 내하력 평가방법이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준," 한국콘크리트학회, 2003.
2. ACI Committee 318-02, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary," American Concrete Institute, Detroit, 2002.
3. Eurocode 2, "Design of Concrete Structures-Part 1: General Rules and Rules for Buildings," European Committee for Standardization, 2002.