

# 모멘트 재분배에 관한 각 국의 설계기준 비교·검토

## Comparison and Review of Design Codes for Moment Redistribution

천 주 현\*      박 재 근\*\*      이 상 철\*\*\*      오 명 석\*\*\*\*      신 현 목\*\*\*\*\*  
Cheon, Ju Hyoun · Park, Jae Geun · Lee, Sang Cheol · Oh, Myung Seok · Shin, Hyun Mock

### ABSTRACT

Moment redistribution problem that reflects plasticity concept is foundation of limit state design and it has been interested to design engineers and researchers for a long time, because it enables the reasonable estimation of strength of structures through amount of reinforcement control about negative moment in support. Many researchers find that moment redistribution closely related to ductility of degree of structure and there are a lot of difficulties in achieving the reliable experimental results because of a lot of restriction of experiment. So, studies are achieved for indirect estimate methods about ductility ability of structures. Each design standards limits that the degree of redistribution of bending moment is based on the measurement of ductility of structure, and it shows conservative results. In this study, with these results, present the basic data for reasonable strength estimation methods and allowed moment redistribution of reinforced concrete continuous beams.

### 요 약

소성학적 개념을 반영하고 있는 휨모멘트 재분배 문제는 한계 상태 설계(Limit State Design)의 근간으로서, 지점부에서의 부모멘트에 대한 철근량 조절을 통한 부재강도에 대한 합리적인 평가를 가능하게 하여 오랫동안 설계 엔지니어와 연구자들에게 흥미의 대상이 되어 왔다. 많은 연구 결과, 재분배되는 휨모멘트량은 소성현지의 회전각과 같이 구조물의 연성도와 밀접한 관계가 있으며, 실험에 따른 많은 제약으로 인한 신뢰성 있는 실험 결과의 확보에 많은 어려움이 있음을 알 수 있다. 이에, 철근콘크리트 구조물의 연성 능력에 대한 간접적인 평가 방안을 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 현재 각 설계기준에서는 앞서의 연구 결과 등을 바탕으로 연성의 대략적인 측정값 따른 휨모멘트의 재분배의 크기를 제한하고 있으며, 이에 대한 많은 연구 결과, 이러한 경험에 근거한 설계식들은 구조물의 연성평가에 상당한 보수적인 결과를 취하고 있음을 알 수 있다. 이 연구에서는, 이러한 결과들과 함께 현재까지 모멘트 재분배에 관한 각 설계기준들에 대한 비교·분석 및 그 동안 저자 등에 의한 연구 결과들을 바탕으로, 철근콘크리트 연속보에 대한 보다 합리적인 강도 평가 및 허용모멘트 재분배 방안 마련을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

\* 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사수료, 공학석사  
\*\* 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 BK 박사후 연구원, 공학박사  
\*\*\* 정회원, 한국시설안전관리공단 교량실 팀장, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, (주)서영엔지니어링 구조설계실 전문, 구조기술사, 박사수료  
\*\*\*\*\* 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사

## 1. 서론

현재까지 다양한 변수에 따른 철근콘크리트 연속 휨부재의 거동 특성 및재분배되는 정도를 파악하기 위한 신뢰성 있는 실험이 수행한 실험체 등이 있으며, 이러한 결과들을 통하여재분배되는 모멘트의 크기는 부재의 연성도와 밀접한 관련이 있음을 증명하였고, 이러한 결과들은 관한 각설계기준 마련을 위한 기초자료로서 활용되었다. Ricardo N. F. D. C., and Sergio M. R. L.(2005)는, 고강도 철근콘크리트 연속 휨부재에 대한 연성 및 재분배되는 모멘트 크기를 분석한 결과, 일반부재와 같이 상당한 모멘트 재분배가 일어남을 검증하였으며, 최근에는, 연속된 프리스트레스 휨 부재 및 탄소보강 섬유 시트 등으로 보강된 연속 휨부재의 모멘트 재분배에 관한 많은 실험이 수행되고 있는 실정이지만, 다른 대상 실험체에 비하여 철근 콘크리트 연속 휨부재의 거동 특성 분석을 위한 검증 실험체가 비교적 작으며, 이는 연속 휨부재의 연성 능력 및 재분배되는 모멘트 크기 산정을 위한 실험은 많은 제약으로 인해, 신뢰성 있는 실험 결과의 확보에 어려움이 있기 때문인 것으로 판단된다.

## 2. 각 설계기준에 따른 모멘트 재분배량 산정 비교·분석

현재의 여러 설계 기준 (CSA A23.3-94; ACI 318-95; BS 8110-85; CEB Model code 1990; JSCE 1986; DIN 1045-78; DS411-1986 등)에서는, 철근콘크리트 연속 휨부재의 소성회전에 따른 모멘트 재분배와 같은 비선형 거동 특성을 반영하기 위하여, 중립축의 깊이와 철근 지수만 으로서, 탄성 모멘트의 결과에 적용한 재분배되는 크기를 고려하고 있으며, 그 결과들에 상당한 보수적인 평가와 함께 서로 상이한 결과를 나타내고 있다(Shakir, A. and Rogowsky D., 2000, Ricardo N. F. D. C. and Sergio M. R. L., 2005). 이에 대한 비교·분석을 위하여, 이에 대한 규정과 함께 적당한 가정을 통한 각 설계기준을 중립축의 깊이 비 ( $c/d$ )에 대한 변수로 표현하여 표 1.과 그림 1.에 각각 나타내었다. 아래의 결과를 통하여, 각 설계기준에서 반영하고 있는 모멘트 재분배에 관한 규정은 매우 다양하며, 그 결과 또한 상이한 것을 알 수 있다. 특히, 일본 및 ACI 318-05, ACI 318-95, CSA A23.3-94의 설계 기준에서는 재분배되는 모멘트량의 최대값을 각각 15% 및 20%정도로 제한함으로써, 그 결과에 상당히 보수적임을 알 수 있으며, DS411-1986의 설계 기준에서는 적절한 조건하에서 최대 66%정도까지도 허용하고 있다.

표 1. 모멘트 재분배량 산정에 관한 각 설계기준의 비교·분석

Code Design	Redistribution, $\beta$ (%)	Remarks
ACI 318-05	$1000 \cdot \epsilon_t$	$7.5 \leq \beta \leq 20.0$
ACI 318-95	$20 \cdot [1 - (\rho - \rho') / \rho_b]$	$10.0 \leq \beta \leq 20.0$
CSA A23.3-94	$30 - 50 \cdot x/d$	$0.0 \leq \beta \leq 20.0$
Eurocode 2 (02)	$f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}, \delta \geq 0.44 + 1.25 [0.6 + (0.0014 / \epsilon_{cu})] \cdot x/d$ $f_{ck} > 50 \text{ MPa}, \delta \geq 0.54 + 1.25 [0.6 + (0.0014 / \epsilon_{cu})] \cdot x/d$	$0.0 \leq \beta \leq 30.0$
JSCE (02)	Flexural moment to be redistributed shall be within 15% (The reinforcement at any cross section does not exceed 50% of the balanced reinforcement ratio)	$0.0 \leq \beta \leq 1.05$

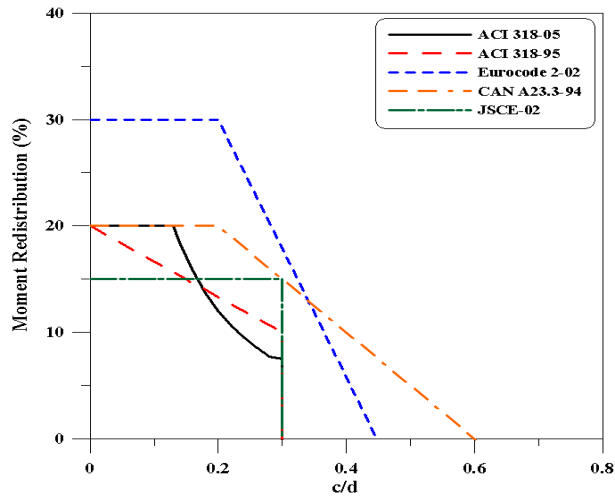


그림 1. 모멘트 재분배에 관한 각 설계기준의 비교

### 3. 비선형 유한요소해석 프로그램을 통한 해석 결과와의 비교·분석

아래의 표 2.에서는, 그 동안 저자 등에 의한 연구 결과에서 검증한 대상 실험체에 대하여 각 설계기준에 따른 모멘트 재분배량을 산정하여 나타내었으며, 해석을 통한 결과와의 비교·분석을 위하여, 각각 함께 나타내었다. 아래의 표 2.에서 (+)의 결과는, 부재의 초과강도 등과 같은 이유로, 지점부에서 양(+)의 재분배가 일어 남음을 나타내며, 각 설계기준 따른 결과에 비하여, 이 연구에서 적용한 해석 결과가 실험결과에 대해 전체적으로 신뢰성 있는 결과를 예측하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 각 설계기준 및 실험과 해석 결과에 따른 모멘트 재분배량 산정

Specimens	Test	Analysis	ACI 318-05	ACI 318-95	Eurocode2-02	JSCE-02
8E	7.81	(+)7.29	16.19	20.00	30.0	15.0
16E	(+)0.36	(+)6.84	12.17	20.00	29.42	15.0
27E	(+)8.75	(+)7.37	10.48	20.00	26.91	15.0
8C	48.47	55.83	9.04	14.25	20.72	15.0
16C	21.61	15.69	9.86	16.67	24.62	15.0
27C	(+)11.51	0.80	10.48	20.00	26.91	15.0
B3T16A	32.00	34.75	20.00	18.36	30.0	15.0
B2T20B	28.00	30.05	12.64	16.78	30.0	15.0
B3T16B	37.00	34.75	13.69	17.26	30.0	15.0
B5T12B	32.00	29.60	14.41	17.70	30.0	15.0
B2T20C	24.00	23.56	0.00	14.37	21.61	15.0
B3T16C	32.00	30.02	7.71	13.20	24.17	15.0
B5T12C	27.00	29.28	8.24	15.97	25.79	15.0
B2T12D	27.00	24.41	14.15	20.00	30.0	15.0
B3T10D	25.00	26.19	13.94	20.00	30.0	15.0
B5T8D	22.00	24.74	15.76	19.85	30.0	15.0

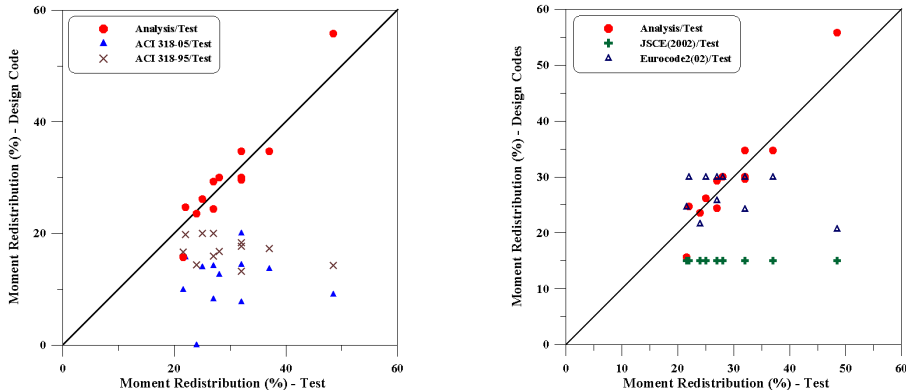


그림 2. 각 설계기준 및 해석과 실험 결과에 따른 모멘트 재분배 비교·분석

지점부에서의 양(+)의 재분배를 일으키는 시험체를 제외한, 총 12개의 실험체에 대한 결과를 그림 2.에 각각 나타내었으며, 현행의 설계기준들은 그 결과 예측에 상당히 보수적이며, 변동성 또한 서로 상이함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 저자 등의 연구 결과를 바탕으로, 철근콘크리트 연속 휨부재의 모멘트 재분배량 산정을 위한 합리적인 방안 마련을 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 모멘트 재분배에 관한 현행의 각 설계기준에 대한 비교·검토를 수행하여, 각 설계기준에서 반영하고 있는 모멘트 재분배에 관한 규정들은, 대부분 부재의 연성능력에 대한 간접적인 평가로서 적용하고 있지만, 적용성과 그 결과에 대한 변동성이 상이함을 알 수 있다. 이러한 결과를, 앞서의 저자 등의 연구 결과와 비교·분석을 수행하여, 추후, 신뢰성 있는 검증 대상 시험체의 확보와 함께 현행의 설계기준의 문제점 등을 보다 합리적으로 고려할 수 있는 모멘트 재분배 산정에 관한 방안 제시가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통한 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업(KBRC)의 2008년도 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. R.H. Scott and R.T. Whittle, "Moment Redistribution Effects in Beams," Magazine of Concrete Research, 2005, Vol. 57 No. 1. pp. 9-20.2.
2. Shakir, A. and Rogowsky, D. "Evaluation of ductility and allowable moment redistribution in reinforcement concrete structures" Canadian Journal Civil Engineering, 2000, Vol. 27, pp. 1286-1299
3. Shakir, A. and Rogowsky, D. "A Parametric Study of Moment Redistribution," 3rd structural speciality conference of the canadian society for civil engineering, 2000, pp. 573-589
4. Ricardo N. F. do Carmo and Sergio M.R. Lppse., "Ductility and linear analysis with moment redistribution in reinforced high-strength concrete beams," Canadian Journal Civil Engineering, 2005, Vol. 32, pp. 194-203
5. 천주현, 성대정, 이상철, 신현목(2007), "철근콘크리트 연속 휨 부재의 거동 특성 및 모멘트 재분배에 관한 해석적 연구," 한국콘크리트학회 춘계학술발표회 발표논문집 제 19권 1호, pp.219-222.