

철근콘크리트 연속보의 휨모멘트 재분배에 관한 해석적 연구

Analytical Study on the Flexural Moment Redistribution of Continuous Reinforced Concrete Beams

천 주 현* 성 대 정** 이 상 철*** 신 현 목*****
Cheon, Ju Hyun Seong, Dae Jeong Lee, Sang Cheol Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

The purpose of this study is to offer an appropriate method of the degree of the flexural moment redistribution for continuous reinforced concrete beams. Twenty-four two-span continuous beams were selected to determine the manner and degree of moment redistribution. The concept of ductility is linked to the moment redistribution capacity and, consequently, the safety of the structure. Knowledge of the plastic rotation capacity of plastic regions of the structure is important for a plastic analysis or a linear analysis with moment redistribution. A nonlinear finite element analysis program named RCAHEST (Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology) was used to evaluate the ultimate strength and degree of moment redistribution. The nonlinear material model for the reinforced concrete is composed of models for characterizing the behavior of the concrete, in addition to a model for characterizing the reinforcing bars.

1. 서 론

소성학적 개념을 반영하고 있는 휨모멘트 재분배 문제는 한계 상태 설계(Limit State Design)의 근간으로서, 설계에 사용할 모멘트도(圖)를 그 한도 내에서 수정할 수 있도록 함으로서, 지점부에서의 부모멘트에 대한 철근량 조절을 통한 부재강도에 대한 합리적인 평가를 가능하게 하여 오랫동안 설계 엔지니어와 연구자들에게 흥미의 대상이 되어 왔다. 재분배되는 휨모멘트량은 소성힌지의 회전각과 같이 구조물의 연성도와 밀접한 관계가 있으며, 철근콘크리트 구조물의 연성 능력의 평가에 대한 연구가 많은 연구자들에 의하여 진행되고 있다¹⁾. 현재 각 설계기준에서는 많은 실험 결과를 바탕으로 연성의 대략적인 추정값 따른 휨모멘트의 재분배의 크기를 제한하고 있다. 이에, 이 연구에서는 철근콘크리트 연속보에 대하여, 보다 합리적인 강도 평가 및 모멘트 재분배를 위한 방안을 제시하고자 한다

* 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정, 공학석사
** 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사수료, 공학석사
*** 정희원, 한국시설안전기술공단 교량실 부장, 구조기술사, 공학박사
***** 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

2. 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST

합리적인 휨모멘트 재분량의 산정을 위한 이 연구에서, 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소 그리고 탄성요소 등²⁾을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP³⁾에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)를 신뢰성 있는 대상 시험체에 적용하여 그 타당성을 검증한다.

3. 모멘트 재분배에 관한 각 설계 기준

일반적으로 모멘트 재분배를 통한 철근 콘크리트의 보와 라멘의 소성용량(plastic capacity)을 완전히 이용하려면 모든 붕괴 기구 및 소성힌지의 회전용량을 조사하여야 하지만, 대부분의 각 설계기준에서는 회전용량의 계산 없이 연성(延性)의 대략적인 측정값에 따라 모멘트를 재분배할 수 있도록 하고 있으며, 이에 대한 자세한 규정은 다음과 같다.

1) 콘크리트 구조설계 기준(KCI-2003)⁴⁾

근사해법에 의해 휨모멘트를 계산한 경우를 제외하고, 어떠한 가정의 하중을 적용하여 탄성이론에 의하여 산정한 연속 휨부재 받침부의 부(負) 모멘트는 다음 분량만큼 증가 또는 감소시킬 수 있다.

$$20\left[1 - \frac{\rho - \rho'}{\rho_b}\right]\% \quad (1)$$

이 수정된 부(負)모멘트는 그 지간(경간)내의 단면에 대한 모멘트 계산에 사용하여야 하며, 이러한 수정은 모멘트가 감소될 단면의 ρ 또는 $(\rho - \rho')$ 가 $0.5\rho_b$ 이하로 설계될 때만 할 수 있다.

2) American Concrete Institute(ACI318-05)⁵⁾

2005년 ACI 설계기준에서 부모멘트 재분배율의 최대값을 철근의 변형률 ϵ_t 의 함수로서, $1000\epsilon_t$ 로서 제시하고 있다.

3) European Committee for Standardization.(Eurocode 2-2002)⁶⁾

유로코드 2에서는 인접 지간 길이 비가 0.5에서 2.0 사이에서, 횡변위(Sideway)가 발생하지 않는 골조 구조인 경우에 적용하도록 제한하고 있으며, 다음과 같이 사용하는 철근의 연성 능력에 따른 추가적인 범위를 두고 있으며, 위험단면에서 모멘트 재분배계수를 결정할 때 적용하는 중립축 깊이 비(比) c/d 의 값을 제한하고 있다.

$$f_{ck} \leq 35 \text{ MPa인 경우} : \delta \geq 0.44 + 1.25 \frac{c}{d} \quad (2)$$

$$f_{ck} \geq 35 \text{ MPa인 경우} : \delta \geq 0.56 + 1.25 \frac{c}{d} \quad (3)$$

4. 대상 시험체

철근콘크리트 연속보에 대한 합리적인 휨모멘트 재분량의 산정을 위하여 이 연구에서 선정된 대상 시험체는 아래의 그림 1과 같이 1958년에 George C. Ernst⁷⁾ 등이 실험한 총 24개의 철근콘크리트 연

속보이다. 이 실험체들은 다양한 인장 및 압축 철근비(比) 및 지점 변위와 같은 극한 조건 하에서 연속 철근콘크리트 보의 내부 모멘트와 전단력의 재분배 정도와 방식을 결정하기 실험체이다. 대상 실험체에 대한 형상 및 주요 재료 물성값은 아래의 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다. 표 2에는 대상 실험체의 실제 붕괴를 유발하는 경간 내부에서의 소성 힌지의 형성 즉, 철근이 항복을 일으키는 극한 하중 하에서의 실험 결과에 대하여 각각 나타내었다.

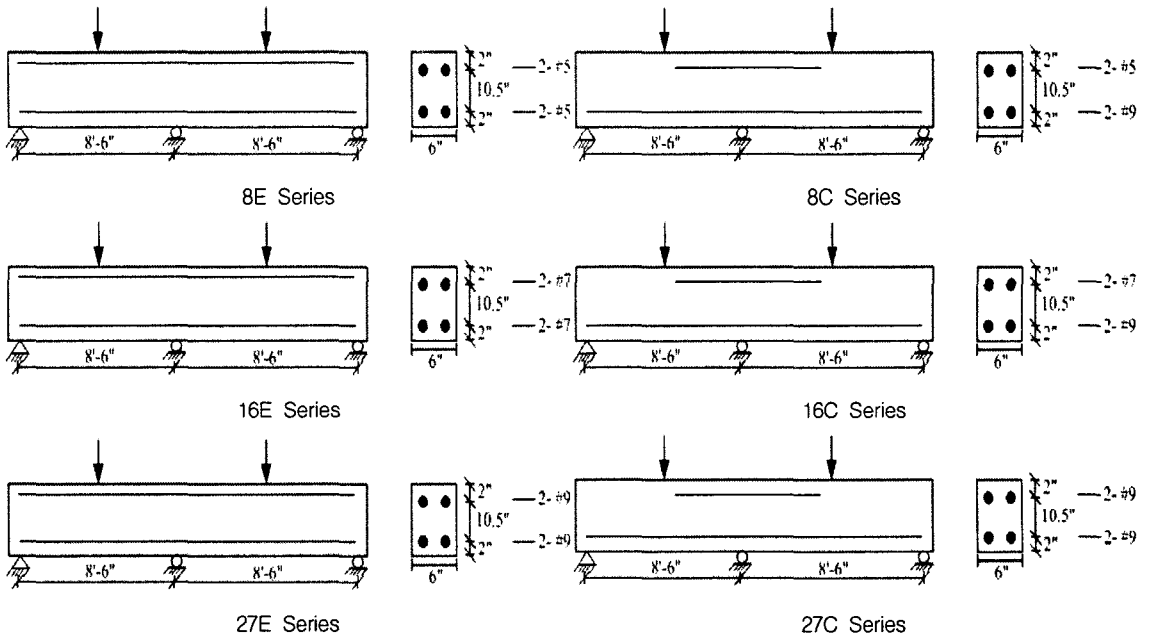


그림 1. 대상 실험체에 대한 부재 형상 및 배근 상세

표 1. 대상 실험체에 재료 물성

Group NO.	Quantity of beams	Steel Ratios		Transverse ties		Longitudinal bars	
		at loads p/p'	at R_2 p/p'	Outer ends to loads	Between loads	Bottom Size and length	Top Size and length
8E	5	0.008/0.008	0.008/0.008	#3@6 in	#3@6 in	2-#5 Full	2-#5 Full
16E	5	0.016/0.016	0.016/0.016	#4@6 in	#4@6 in	2-#7 Full	2-#7 Full
27E	5	0.027/0.027	0.027/0.027	#4@3 in	#4@3 in	2-#9 Full	2-#9 Full
8C	3	0.008/0	0.027/0.008	#3@6 in	#4@4 in	2-#5 Full	2-#9 7ft 8in
16C	3	0.016/0	0.027/0.016	#3@6 in	#4@4 in	2-#7 Full	2-#5 7ft 8in
27C	3	0.027/0	0.027/0.027	#4@6 in	#4@3 in	2-#9 Full	2-#5 7ft 8in

표 2 대상 실험체에 실험 결과

Beam No.	Loading Case, No.	Shear, Kips		Moment, in-kips		Total load, kips Test
		Outer	Inner	Positive	Negative	
8E1	1	8.37	19.73	427	580	56.2
8E2	2	8.16	16.94	416	447	50.2
8E3	3	8.85	18.15	451	474	54.0
8E4	4	8.80	17.10	449	424	25.0
8E5	5	8.92	15.58	456	344	24.5
8C1	1	8.20	28.80	419	1050	74.0

8C2	2	8.94	26.76	456	909	71.4
8C3	3	7.81	29.19	398	1088	74.0
16E1	1	14.97	32.83	762	910	95.6
16E1a	1	14.34	31.66	731	882	92.0
16E2	2	15.05	29.65	766	744	89.4
16E3	3	14.91	30.99	760	818	91.8
16E5	5	16.00	28.80	815	653	44.8
16C1	1	14.32	38.33	730	1255	105.3
16C2	2	14.68	31.61	747	862	92.6
16C3	3	13.76	34.74	700	1068	97.0
27E1	1	18.09	36.91	921	959	110.0
27E2	2	19.95	34.95	1017	764	109.8
27E3	3	17.58	36.07	895	941	107.3
27E4	4	20.10	36.70	1023	846	56.8
27E5	5	19.92	36.18	1015	828	56.1
27C1	1	18.04	36.26	920	928	108.0
27C2	2	20.81	32.69	1060	605	107.0

5. 결 론

이 연구에서는 철근콘크리트 연속보에 대한 소성적인 거동 특성 및 이에 따른 합리적인 휨모멘트 재분배량을 산정하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여, 신뢰성 있는 대상 실험체를 선정하였고, 추후 각 설계기준 및 비선형 유한요소 해석 프로그램 RCAST를 통한 해석 및 실험결과와의 비교·분석을 수행하여 철근콘크리트 연속보에 대한 합리적인 휨모멘트 재분배량 산정을 위한 방안을 제시한다. 여기서, 고강도 콘크리트를 사용한 연속보 및 PSC 콘크리트 연속보에 대한 휨모멘트 재분배량 산정을 위한 합리적인 방안에 대한 추후의 연구가 필요할 것으로 판단된다. 아울러, 이러한 결과들은 향후 한계 상태 설계(Limit State Design) 및 성능기반 설계(Performance Based Design)를 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 고만영, 김상우, 김진구, 이정운(2001), "고강도 철근콘크리트 보의 모멘트 재분배에 관한 연구", 대한 건축학회, Vol. 19, No. 9, pp.9-16
- Taylor, R. L., FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2, Users Manual, Volume 1 and Volume 2, 2000.
- Kim, T. H., Lee, K. M., Chung, Y. S., and Shin, H. M., "Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Bridge Columns," Engineering Structures, 2005, Vol. 27, No. 4, pp. 576-592.
- 콘크리트 구조설계기준, 2003
- ACI Committee 318, 2005, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-05)", American Concrete Institute.
- European Committee for Standardization. 2002. Eurocode 2., "design of concrete structures. Part 1: general rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- George C. Ernst, "Moment and Shear Redistribution in Two-Span Continuous Reinforced Concrete Beams," ACI Journal Proceeding, 1958, Vol. 55 No. 11. pp. 573-589.