



철근콘크리트 보의 전단저항 성분 분해

이창신¹⁾ · 신근옥¹⁾ · 김 우^{1)*}

¹⁾전남대학교 토목공학과

Decomposition of Shear Resistance Components in Reinforced Concrete Beams

Chang-Shin Rhee¹⁾, Geun-Ok Shin¹⁾, and Woo Kim^{1)*}

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT The objective of the present study is to verify the validity of a new truss model for evaluating the contribution by arch action to shear resistance in shear-critical reinforced concrete beams. The new truss model is based on the relationship between shear and bending moment in a beam subjected to combined shear and bending. The compatibility condition of the shear deformation that deviates from Bernoulli bending plane is formulated utilizing the smeared truss idealization with an inclined compression chord. The Modified Compression Field Theory is employed to calculate the shear deformation of the web, and the relative axial displacements of the compression and the tension chord by the shear flow are also calculated. From this shear compatibility condition in a beam, the shear contribution by the arch action is numerically decoupled. Then the validity of the model is examined by applying the model to some selected test beams in literatures. On the basis of the analytical results, the contribution by the web to shear resistance can be constant and have an excellent linear correlation with the web reinforcement ratio. The present decoupling approach may provide a simple way for the assessment of the role of each parameter or mechanism that affects the ultimate shear behavior of reinforced concrete beams.

Keywords truss model, compatibility, shear resistance component, arch action, reinforced concrete beam

1. 서 론

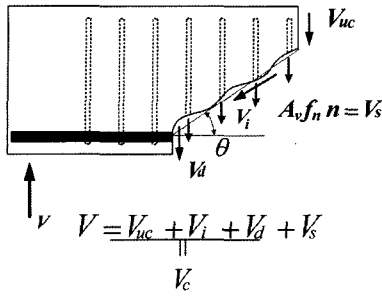
철근콘크리트 부재의 전단저항은 Fig. 1(a)에 보인 바와 같이 비균열 콘크리트 압축력이 분담하는 저항 성분 (V_{uc}), 균열면의 골재 맞물림 저항 성분 (V_l) 및 주철근의 다웰 저항 성분 (V_d)으로 구성된 콘크리트 기여 전단저항 (V_c)과 복부전단철근 기여 전단저항 (V_s)으로 이루어진다고 잘 알려져 있다¹⁾.

지난 40년간 트러스모델(truss model)의 개념은 크게 확장되었으며, 현재 세계 여러 나라의 전단설계 방법은 트러스모델을 바탕으로 하고 있다. 대표적인 설계기준에서 적용하고 있는 트러스모델의 특징을 Fig. 1(b)에 정리하였다.

상현재가 평행한 트러스에 스트럿의 경사각이 45°인 고전트러스모델(classical truss model)은 너무 안전측의 결과를 나타낸다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 이러한 이유에서 트러스 작용에 의한 전단저항에 콘크리트 기여

전단저항을 추가해 주는 개념이 사용되었는데, 이러한 방법을 수정트러스모델(modified truss model)이라고 한다. 우리나라 콘크리트구조설계기준²⁾과 ACI 318³⁾의 전단설계 방법이 이에 해당하며, 근본적으로 실험 결과에 바탕을 둔 ' $V_c + V_s$ ' 개념에 의한 설계 방법이다. 이 모델은 콘크리트 기여 전단저항을 구성하는 각각의 성분력(V_{uc} , V_l 및 V_d)의 크기를 정할 수 없으므로, 수많은 실험 결과를 토대로 하여 전단철근이 없는 부재의 사인장 균열강도 $0.16\sqrt{f_{ck}}$ 를 전단철근이 있는 부재의 콘크리트 기여 전단강도로 간주하는 확실하지 않은 방법을 채택하고 있는 것이다. 더구나 작은 주철근비를 갖는 보에서나 고강도 콘크리트 보의 전단강도를 과대평가하고 있다는 것도 잘 알려진 사실이다. 위와 같은 문제점의 일부를 보정하려는 의도로 현행 설계기준에는 임시적이고 제한적 설계 규정과 공식을 포함하고 있다. 이러한 공식의 대부분은 실험에 의해 유도된 것이며, 특정한 형태의 부재(즉, 깊은 보, 축력이 있는 보, 프리스트레스트 보, 고강도 콘크리트 보)에 해당하는 것으로서, 적용범위의 제한을 갖고 있다. 이 결과로 ACI 전단설계 공식은 60년대 6개에서 현재는 43개로 확대되었다. 이러한 배경에 의해 실험 결과 자체에 의존하는 것보다 모든 경우에 일반적으로 적

*Corresponding author E-mail : wkim@chonnam.ac.kr
Received August 28, 2006, Accepted September 15, 2006
©2006 by Korea Concrete Institute



(a) Components of shear resistance

Model	Resistant Components				θ	
	V_c			V_s		
	V_{uc}	V_i	V_d			
Classical Truss Model	X	X	X	○	45°	
Standard Truss Model	EC 2	X	X	X	○	variable
Modified Truss Model	ACI		○		○	45°
	AASHTO LRFD	X	○	X	○	variable

(b) Various truss model

Fig. 1 Shear resistance mechanism of RC beams

용할 수 있는 해석 모델을 개발하는 데 관심이 집중되고 있다.

최근에는 평행 상현재를 갖는 변각트러스와 콘크리트 기여분을 조합하는 방법의 수정트러스모델(modified truss model)도 개발되었다. AASHTO LRFD⁴⁾의 전단설계 방법의 바탕 이론인 수정압축장이론(MCFT)이 이에 해당한다. 그러나 이 모델도 Fig. 1(b)에 정리한 바와 같이 콘크리트 기여 전단저항을 균열면의 골재 맞물림 저항만으로 설명하는 한계가 있다.

또 다른 접근법으로 복부 스트럿의 경사각이 변각(variable angle)인 평행 현재 트러스모델이 있는데, 이 모델은 콘크리트 기여 강도를 무시하는 대신에 스트럿의 경사각을 높게 하여 전단철근의 기여분을 크게 평가하여 간접적으로 콘크리트 기여 전단저항을 반영하는 방법이다. 이러한 모델을 표준트러스모델(standard truss model)이라 하며, EC 2⁵⁾의 전단설계 방법인 변각트러스모델(variable angle truss model)이 이에 해당한다. 이 모델도 역시 콘크리트 기여 전단 성분을 명시적으로 정할 수 없는 한계를 갖고 있다.

위와 같이 현재까지 개발된 기존 트러스모델의 역학적 기구로는 전단저항 성분을 각각이 분해하여 설명하는데 한계가 있다. 따라서 이 연구에서는 선행 연구⁶⁾에서 개발한 전단 해석 모델을 통해 전단저항 성분을 분해하여 전단저항기구를 합리적으로 설명하고자 시도하였다. 제안 모델을 기존 실험 결과에 적용하여 각 전단저항 성분의 특성을 분석하였으며, 이를 통하여 제안 모델의 유효성을 검증하였다.

2. 전단변형적합조건에 기반한 철근콘크리트 부재의 전단 해석 모델⁶⁾

선행 연구⁶⁾에서 제안한 전단 해석 모델은 균열이 발생한 철근콘크리트 보에서 전단과 휨모멘트 관계식 즉 $V=dM/dx$ 에 기초하여 보 전단 거동을 Fig. 2와 같이 아치작용과 보작용으로 분해하여, Fig. 3과 같은 분산트러스(smearred truss)로 이상화한 모델이다. 이 모델의 핵심 기술은 변형적합에 의존하는 전단저항 구성비, 즉, 전체 전단력에 대한 아치작용에 의한 전단력 성분의 비로 정의한 계수- α 의 도입이며, 타이드-아치의 축변형과 복부

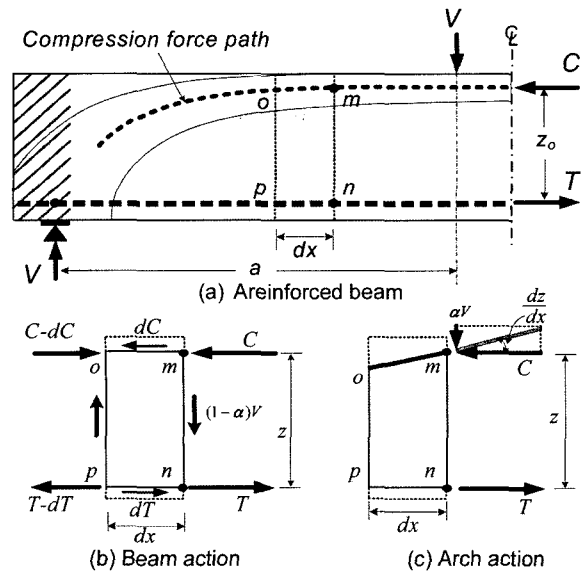


Fig. 2 Mechanical interpretation of shear resistant components

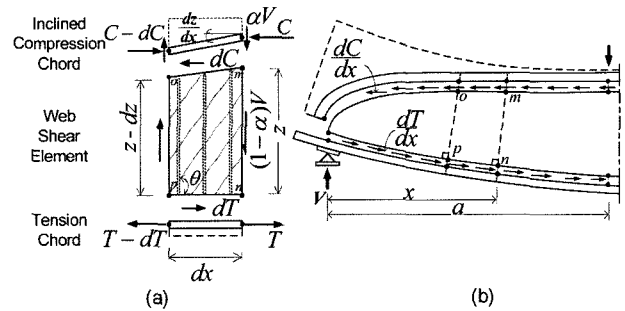


Fig. 3 Shear deformation compatibility condition: (a) smeared truss idealization, (b) idealized beam

의 전단 변형이 서로 일치해야 한다는 전단변형 적합조건을 정식화하였다. 이 적합조건을 이용하면 보의 전단 저항 기구를 보작용과 아치작용으로 수치적 분해가 가능해진다. 이 해석 모델의 평형방정식, 적합방정식 및 구성방정식과 해석 절차를 Fig. 4에 요약하여 정리하였다. 이 해석 모델의 상세한 소개는 참고문헌 6에 기술되어 있다.

3. 제안 모델을 이용한 전단저항 성분 분해

철근콘크리트 부재의 단면 제원과 작용하중(M, V)이

$$z_x = \left(\frac{M_x}{M_{max}} \right)^\alpha z_o = R_x^\alpha \cdot z_o \quad (1)$$

(a) Compression forec path assumen

< Equilibrium of concrete >

$$f_2 = (1 - \alpha)v (\tan \theta + \cot \theta) - f_1 \quad (2)$$

$$f_T = (1 - \alpha)v \tan \theta - f_1 \quad (3)$$

$$f_L = (1 - \alpha)v \cot \theta - f_1 \quad (4)$$

where, $v = V / (b_w z_x)$

< Stirrup stress >

$$\rho_{vm} f_v = (1 - \alpha)v \tan \theta - f_1 \quad (5)$$

$$\rho_{vm} f_{vo} = (1 - \alpha)v \tan \theta - 0.5 f_1 \quad (6)$$

$$\rho_{vm} f_{vy} = (1 - \alpha)v \tan \theta - 0.5 f_1 \quad (7)$$

where, $\rho_{vm} = \rho_v (z_o / z_x)$

$$0 = (1 - \alpha)v \tan \theta - 0.5 f_1 \quad (8)$$

< Constitutive laws >

$$f_1 = \frac{\beta f_{cr}}{1 + \sqrt{500 \epsilon_1}} \text{ for } \epsilon_{cr} \leq \epsilon_1 \quad (9)$$

$$f_2 = \frac{f_{ck}}{0.8 + 170 \epsilon_1} \left[2 \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_{co}} \right) - \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

where, $\beta = 1.0, \epsilon_{co} = 0.002$

< Compatibility >

$$\epsilon_T = \frac{1}{\rho_{vm} E_s} [(1 - \alpha)v \tan \theta - f_1] \quad (11)$$

$$\epsilon_T = \epsilon_1 \cos^2 \theta - \epsilon_2 \sin^2 \theta \quad (12)$$

$$\gamma_w = (\epsilon_1 + \epsilon_2) \sin 2\theta \quad (13)$$

(b) Web shear element

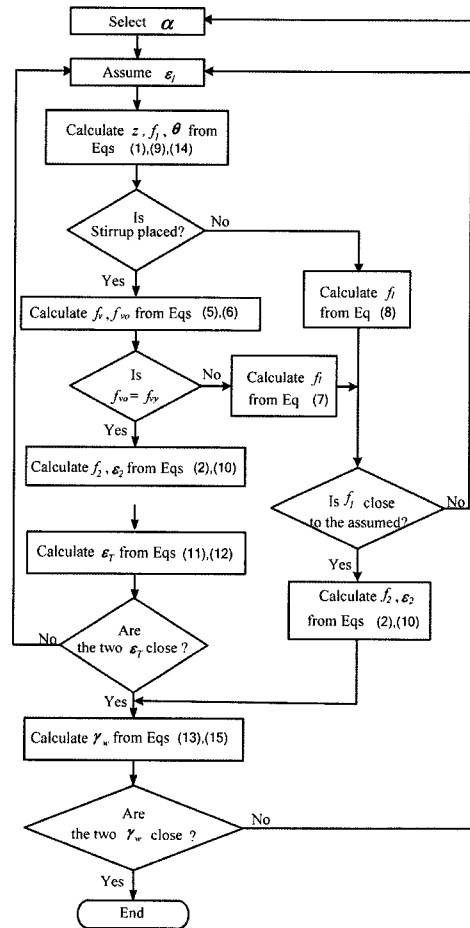
< Equilibrium >

$$\cot \theta_x = \frac{(M_x / z_o)(R_x^\alpha - 1) + (f_1 + f_n) b_w z_o R_x^\alpha (1 - 0.5 R_x^\alpha)}{V [1 - 0.5(1 + \alpha) R_x^\alpha]} \quad (14)$$

< Compatibility >

$$\gamma_w = \frac{1 - R_x^\alpha}{\alpha V_x} \left(\frac{M_x}{z_o R_x^\alpha} \right)^2 \left(\frac{E_c A_{cc} + E_{sm} A_s}{E_c A_{cc} E_{sm} A_s} \right) \quad (15)$$

(c) Section of member



(d) Flow chart of solution algorithm

Fig. 4 Summary of proposed model

주어지면, Fig. 4의 절차에 따라 제안 모델을 이용하여 해석을 수행하여 알고리즘의 해가 수렴되면 아치작용의 정량적 계수 α 뿐만 아니라 경사각 θ , 주변형률, 주응력, 주철근력 그리고 스티럽 응력까지 계산된다. 이 해석 모델에서 αV 는 아치작용에 의한 전단저항이고, $(1 - \alpha)V$ 는 보작용에 의한 전단저항이다(Figs. 2와 3 참조). 따라서 αV 는 비균열 콘크리트 압축력이 분담하는 저항 성분 (V_{uc})을 의미한다. 보작용에 의한 전단저항 $(1 - \alpha)V$ 는 $0.5f_1 b_w z_o R_x^\alpha \cot \theta$ 와 $A_v f_{vy} (z_o / s) \cot \theta$ 의 합으로 구성되어 있는데, $0.5f_1 b_w z_o R_x^\alpha \cot \theta$ 값은 균열면의 골재 맞물림 저항 성분(V_i)과 주철근의 다월 저항 성분(V_d)의 합한 값에 해당하고, $A_v f_{vy} (z_o / s) \cot \theta$ 는 복부철근(스티럽)이 분담하는 저항 성분이다.

이 연구의 해석 모델을 이용하여 1960년대 Stuttgart대학에서 실험한 보 ET2의 하중단계별 전단저항 성분을 위에서 설명한 방법으로 구하여 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5를 살펴보면, 스티럽이 담당하는 전단력 V_s 는 균열 발생 후부터 작용하중에 비례하여 증가하며, 스티럽 항복 이후에는 증가율이 다소 감소되고 파괴시에는 작용전단력의 약 절반을 담당하고 있다는 것을 알 수 있다. 반면에 $V_i + V_d$ 는 거의 일정한 크기로 남아있다는 것을 알 수 있다. 타이드-아치작용에 의해 콘크리트 압축력이 담당하는 전단력(V_{uc})은 하중 증가에 따라 점차 증가하다 스

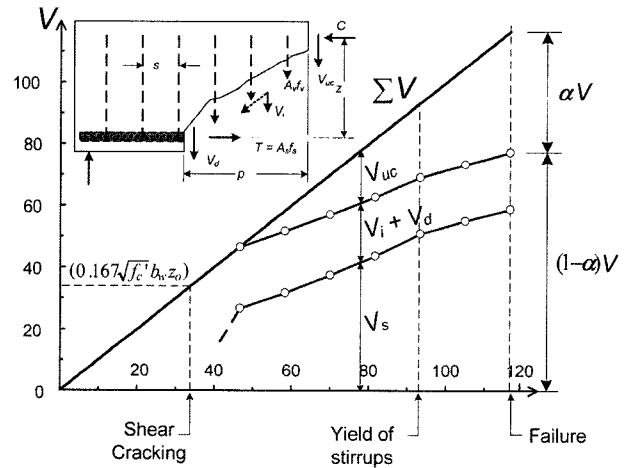


Fig. 5 Decomposition of shear resistance components using the proposed model

티럽 항복 이후 증가율이 다소 커져 파괴 때는 작용 전단력의 약 30% 이상을 담당하고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 전단저항 성분 분해 결과는 Taylor⁷⁾와 Leonhardt⁸⁾의 실험 관찰 결과와도 일치한다. 이와 같은 결과에 근거하면, 본 연구의 전단해석 트러스모델은 각 전단저항 성분을 합리적으로 설명할 수 있는 역학적 기구라고 할 수 있다.

4. 극한한계상태의 전단저항 성분 분석

부재의 전단강도에 영향을 미치는 주요 변수에 따라 새롭게 제안한 해석 모델이 어떻게 작동하는가를 살펴보기 위해, 기존 문헌에 발표된 실험 보의 파괴 때의 전단저항 성분을 분석하였다.

Fig. 6은 부재의 주철근비만 변화하는 실험 자료에 해석 모델을 적용하여 분해한 저항력 구성을 나타낸 것이다. Fig. 6에 이용된 자료는 Placas와 Regan⁹⁾의 전단철근이 있는 실험 보 중 기하구조가 동일하고 주철근비만을

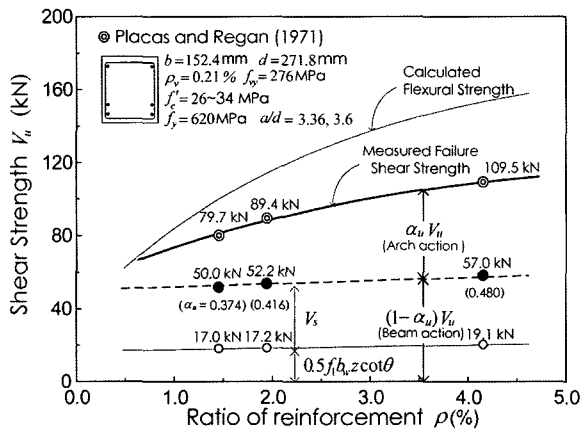


Fig. 6 Redistribution of internal shear forces according to longitudinal steel ratio

변수로 하고 있는 3개 자료를 이용하였다. 해석은 전단경간 중앙 위치에서 수행되었으며, 결과는 Table 1에 정리하여 나타냈다. 이 결과에 의하면, 주철근비가 증가하면 전단강도는 증가하지만, 복부에서 담당하는 전단력 $(1 - \alpha)V$ 는 주철근비가 증가하여도 일정하다는 것을 알 수 있다. 주철근비 증가에 따라 전단강도가 커지는 것은 부재 내부에 타이드-아치작용이 더 활성화 되어 콘크리트 압축력에서 더 많은 전단저항을 하기 때문이다. 이 분석 자료의 경우 파괴하중 단계에서 α_u 값이 주철근비가 증가함에 따라 0.37에서 0.48까지 변하는데, 이는 극한 전단력 중에서 압축대 전단저항 분담이 37%에서 48%로 증가하고, 나머지는 일정한 크기를 갖는 복부 담당 전단력 $(1 - \alpha)V$ 가 견딘다는 것을 의미한다.

Fig. 7은 부재의 전단경간비를 변화시킨 전단철근이 있는 실험 자료¹⁰⁾에 대해 해석 모델을 적용한 결과를 도시한 것이다. 해석은 전단경간 중앙 위치에서 수행되었으며, 결과는 Table 1에 정리하였다. 이 결과에서도 전단경간비에 상관없이 복부가 분담하는 전단력 $(1 - \alpha)V$ 는 일정하게 나타나고 있다. 전단경간비가 2인 짧은 보의 파괴 시 전체 전단력의 61%를 아치가 견디고, 복부는 단지 전체 전단력의 39%만을 저항한다. 반면에 전단경간비가 4인 세장한 보에서는 극한 전단력의 약 75%를 복부가 저항한다. 전단경간비가 짧을수록 부재에는 타이드-아치작용이 현저해 지므로 콘크리트 압축역에서 담당하

Table 1 Analysis results on decomposition of shear resistance components using proposed model

Author	Beam no.	α	θ	f_1 (MPa)	f_2 (MPa)	ϵ_1 ($\mu\epsilon$)	ϵ_2 ($\mu\epsilon$)	γ_w ($\mu\epsilon$)	z_x (mm)	z_o (mm)	$V_{u\ test}$ (kN)	Note	
Placas & Regan ⁹⁾	R8	0.374	32.7	0.77	3.13	2904	158	2782	239.0	184.4	79.7	$\rho = 1.46\%$	
	R11	0.416	30.6	0.76	3.7	2987	194	2785	233.8	175.2	89.4	$\rho = 1.95\%$	
	R12	0.480	25.2	0.81	5.88	3726	266	3077	202.2	145.0	109.5	$\rho = 4.16\%$	
$a/d = 3.36(R8, R11), 3.6(R12), b \times d = 152.4 \times 271.8\text{ mm}, \rho_v = 0.21\%, f_y = 620\text{ MPa}, f_{vy} = 276\text{ MPa}, f_{ck} = 26\text{--}34\text{ MPa}$													
Xie et al. ¹⁰⁾	NHW-2	0.612	32.2	1.56	10.06	2223	129	2123	155.9	102.0	175.0	$a/d = 2.0$	
	NHW-3	0.374	33.8	1.58	7.91	2272	98	2190	155.9	120.3	107.0	$a/d = 3.0$	
	NHW-4	0.250	35.8	1.54	6.44	2561	82	2509	155.9	131.1	84.0	$a/d = 4.0$	
$b \times d = 127 \times 198.1\text{ mm}, \rho = 4.54\%, \rho_v = 0.51\%, f_y = 421\text{ MPa}, f_{vy} = 324\text{ MPa}, f_{ck} = 94\text{ MPa}$													
Kani ¹¹⁾	109	0.792	34.4	0.47	1.0	1168	40	1127	247.5	142.9	71.7	$a/d = 1.5$	
	102	0.618	32.1	0.48	1.21	1102	49	1035	247.5	161.3	48.9	$a/d = 2.0$	
	105	0.501	31.5	0.47	1.27	1227	49	1137	247.5	174.9	41.4	$a/d = 2.5$	
	116	0.472	29.5	0.43	1.35	1835	58	1637	247.5	178.4	39.4	$a/d = 3.0$	
	104	0.386	28.1	0.38	1.34	2818	69	2398	247.5	189.4	33.6	$a/d = 4.0$	
	$\rho = 0.8\%, b \times d = 152.4 \times 271.8\text{ mm}, f_y = 440\text{ MPa}, f_{ck} = 25\text{--}26.4\text{ MPa}$												
	26	0.767	28.1	0.46	1.63	1445	64	1253	234.3	137.7	78.3	$a/d = 2.0$	
	27	0.555	29.1	0.53	1.69	1021	57	917	234.3	159.5	51.4	$a/d = 2.5$	
	35	0.498	25.3	0.42	1.87	2087	85	1678	235.3	166.6	44.7	$a/d = 3.5$	
	29	0.484	21.8	0.35	2.18	3674	130	2625	235.3	167.5	43.1	$a/d = 4.5$	
	$\rho = 1.8\%, b \times d = 152.4 \times 271.8\text{ mm}, f_y = 440\text{ MPa}, f_{ck} = 24.6\text{--}29.4\text{ MPa}$												
	94	0.849	25.7	0.42	1.79	1977	82	1611	227.7	126.4	110.6	$a/d = 2.0$	
	95	0.724	24.5	0.43	2.07	1752	92	1392	229.5	138.9	72.8	$a/d = 2.5$	
97	0.643	23.4	0.43	2.29	2069	99	1580	231.2	148.0	62.5	$a/d = 3.0$		
84	0.582	20.0	0.37	2.80	3617	150	2417	225.4	150.6	55.4	$a/d = 4.0$		
81	0.520	16.0	0.28	3.50	8400	307	4623	228.7	159.5	51.2	$a/d = 6.0$		
$\rho = 0.8\%, b = 151\text{--}153\text{ mm}, d = 271\text{--}276.4\text{ mm}, f_y = 338\text{--}366\text{ MPa}, f_{ck} = 25.3\text{--}27.5\text{ MPa}$													

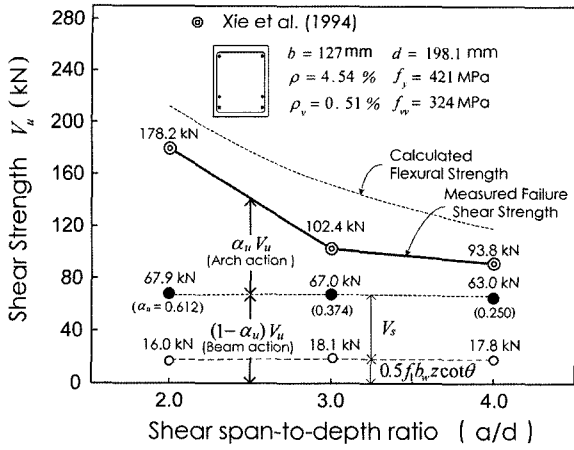


Fig. 7 Redistribution of internal shear forces according to shear span-to-depth ratio

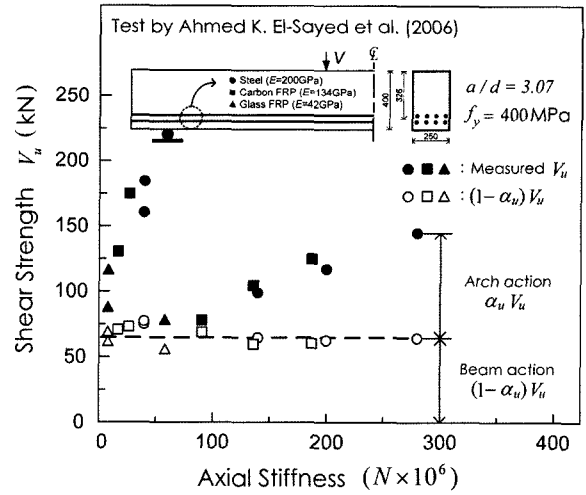


Fig. 9 Shear resistance components in concrete beams reinforced with FRP bars

는 전단력이 증가할 수밖에 없다는 것을 알 수 있다.

1960년대 Kani¹¹⁾가 실험한 주철근비와 전단경간비가 각기 다른 전단철근이 없는 보 실험 자료에 해석 모델을 적용한 결과를 Fig. 8과 Table 1에 정리하였다. 이 결과에서 보듯이 복부철근이 없는 보에서도 주철근비 및 전단경간비가 변화하여도 복부에서 담당하는 전단력 $(1-\alpha)V$ 는 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

철근의 부식은 철근콘크리트 구조물의 수명을 단축시키는 주요 원인이며, 공용기간 중에 많은 유지관리비용을 발생시키고 있다. 이러한 재료적 문제를 해결하기 위해 철근에 비해 내부식성이 뛰어나고 고강도인 섬유복합재료(fiber reinforced polymers, FRP)가 철근의 효과적인 대체재로 제안되고 있으며, 국내외적으로 FRP 보강근의 개발 연구가 활발하다. 제안 모델이 사용재료가 변화하여도 일반적으로 적용가능한지 검토하기 위해 FRP 보강 콘크리트 보에 대한 검토를 수행하였다. Fig. 9는 인장 보강재로서 철근, 유리섬유 및 탄소섬유를 사용하였고, 각 재료적 특성에 따른 하현재의 축강성을 변수로 하고 있는 Ahmed K. El-Sayed 등^{12,13)}의 실험 자료를 적용하여 전단성분 분해를 실시한 것이다. 분산정도가 큰 실험 자료에 비해 제안 분리법에 의한 복부가 분담하는 보자

용에 의한 전단저항력 $(1-\alpha)V$ 는 하현재 축강성이 변화하여도 일정하게 남아 있음을 알 수 있다.

이러한 해석 결과로부터, 제안 모델은 복부철근이 배치되지 않은 보와 배치된 보, FRP 보강 콘크리트에도 똑같이 적용 가능한 일관된 논리를 확보한 모델이라고 할 수 있다.

해석 모델을 이용하여 제안한 전단저항 성분 분해법의 적용성을 종합적으로 검토하게 위해, 15개의 다른 연구로부터의 수집한 실험 보 190개 자료^{9,10,14-26)}를 분석하였다. 모든 실험 보는 집중하중을 받는 단순보로서 직사각형 단면을 갖는다. 해석 모델을 이용해 분해한 전단력 성분을 Fig. 10에 중첩하여 나타냈다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이, 실제 측정 전단강도(\circ)와 비교하여 복부가 분담하는 전단강도(\bullet)는 훨씬 분산이 작을 뿐만 아니라, 역학적 복부철근비와도 훌륭한 상관관계에 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 미루어 보아, 새로운 해석 모델은 철근콘크리트 부재의 전단 거동에 영향을 미치는 각 변수나 메커니즘을 합리적으로 설명할 수 있는 모델이라고 할 수 있겠다.

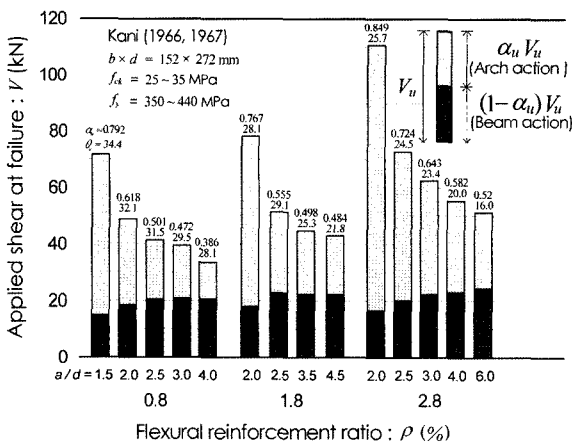


Fig. 8 Shear resistance components in beams without stirrup

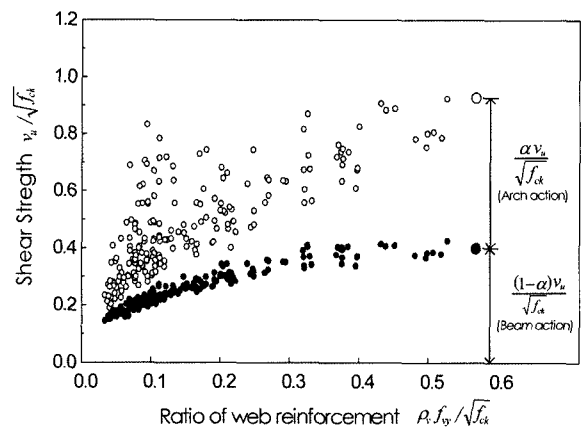


Fig. 10 Decomposition of shear resistance components in beams with stirrup

5. 요약 및 결론

본 연구의 목적은 휨과 전단에 지배받는 철근콘크리트 보에서 아치작용에 의한 전단기여분을 평가하는 새로운 모델의 적용성을 검증하기 위한 것이다. 새로운 모델은 전단력은 휨모멘트의 변화율이라는 관계식을 기초로 분산트러스 이상화 기법을 이용하여 횡단면에서 베르누이 휨 평면으로부터 전단변형적합조건을 새롭게 유도하였다. 전단변형적합조건을 이용하면, 각 보의 측정된 전단력을 복부에 전달된 전단력과 콘크리트 압축대(아치)에 전달된 전단력으로 분류할 수 있었다. 제안 모델의 유효성은 기존 문헌에 수록된 활용 가능한 실험 자료를 통해 검증하였는데, 수행 결과 제안모델은 복부철근이 배치된 보와 배치되지 않은 보 및 FRP보강 콘크리트 보에도 똑같이 적용 가능한 일관된 논리를 확보하고 있음을 알 수 있었다. 또한 복부의 전단력이 주철근비 및 전단경간비가 변화하여도 일정하다는 것을 명료하게 알 수 있었고, 복부가 부담하는 전단력은 역학적 복부 철근비와는 훌륭한 선형관계에 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 보아, 아치계수- α 는 전단에 지배받는 철근콘크리트 부재의 거동을 설명하는데 가장 결정적인 변수이며, 새로운 해석 모델은 철근콘크리트 부재의 전단 거동에 영향을 미치는 각 변수나 메커니즘을 합리적으로 설명할 수 있는 모델이라고 할 수 있겠다.

본 연구의 결과에 의하면, 복부가 부담하는 전단력은 각 보의 기하조건에 무관하게 전단철근비만의 함수 형태로 나타낼 수 있으며, 이러한 분석 결과는 향후 다양한 부재와 실용적 적용을 위한 파괴기준 특성 연구에 기본 개념으로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", *Journal of Structural Division, ASCE*, Vol.99, No.6, 1973, pp.1091~1187.
- 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2003, pp.145~198.
- ACI Committee 318, *Building Code Requirement for Reinforced Concrete and Commentary (318R-99)*, ACI, Detroit, M.I. 1999, 391pp.
- AASHTO, *Bridge Design Specifications*, SI Units, Third edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2004, pp.5-52~74.
- Eurocode2, *Design of Concrete Structures-Part I, General Rules and Rules for Buildings*, British Standard Institution, London, 1992, pp.629~669.
- 김 우, 이창신, 정재평, "전단변형적합조건에 기반한 철근콘크리트 부재의 전단 해석 모델", 콘크리트학회논문집, 18권, 3호, 2006, pp.379~388.
- Taylor, H. P. J., "The Fundamental Behavior of Reinforced Concrete Beams in Bending and Shear", *ACI SP-42*, Detroit, M.I., 1974, pp.43~77.
- Leonhardt, F., "Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs", *Magazine of Concrete Research*, Vol.17, No.53, December 1965, pp.187~198.
- Placas, A. and Regan, P. E., "Shear Failure of Reinforced Concrete Beams", *ACI Journal*, Vol. 68, No.10, Oct. 1971, pp.763~773.
- Xie, Y., Ahmad, S. H., Yu, T., Hino, S., and Chung, W., "Shear Ductility of Reinforced Concrete Beams of Normal And High-Strength Concrete", *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.2, Mar.-Apr. 1994, pp.140~149.
- Kani, G. N. J., "Basic Facts Concerning Shear Failure", *ACI Journal*, Vol.63, No.3, 1966, pp.675~692.
- El-Sayed, A. K., El-Salakawy, E. F., and Benmokrane, B., "Shear Strength of FRP-Reinforced Concrete Beams without Transverse Reinforcement", *ACI Structural Journal*, Vol.103, No.2, Mar.-Apr. 2006, pp.235~243.
- El-Sayed, A. K., El-Salakawy, E. F., and Benmokrane, B., "Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", *ACI Structural Journal*, Vol.103, No.3, May~June 2006, pp.383~389.
- McGormley, J. C., Creary, D/B., and Ramirez, J. A., "The Performance of Epoxy-Coated Shear Reinforcement", *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.5, Sept.-Oct. 1996, pp.531~537.
- Kong, P. Y. L., and Rangan, B. V., "Shear Strength of High-Performance Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.95, No.6, Nov.-Dec. 1998, pp.677~688.
- Zararis, P. D. and Papadakis, G., "Influence of the Arrangement of Reinforcement on the Shear Strength of RC Beams", *Proceedings of the 13th Hellenic Conference on Concrete*, Rethymnon, Greece, Vol.1, 1999, pp.110~119.
- Bresler, B. and Scodelis, A. C., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.60, No.1, Jan. 1963, pp.51~74.
- Mphonde, A. G. and Frantz, G. C., "Shear Tests of High- and Low-Strength Concrete Beams with Stirrups", *High-Strength Concrete*, SP-87, H. G. Russell, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1985, pp.179~196.
- Elzanty, A. H., Nilson, A. H., and Slate, F. O., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete", *ACI Journal*, Vol.83, No.2, Mar.-Apr. 1986, pp.290~296.
- Johnson, M. K. and Ramirez, J. A., "Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete", *ACI Structural Journal*, Vol.86, No.4, July.-Aug. 1989, pp.376~382.
- Yoon, Y., Cook, W.D., and Mitchell, D., "Minimum Shear Reinforcement in Normal-, Medium, and High-Strength Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.5, Sept.-Oct. 1996, pp.576~584.
- Ozcebe, G., Ersoy, U., and Tankut, T., "Evaluation of Minimum Shear Reinforcement Requirements for Higher-Strength Concrete", *ACI Structural Journal*, Vol.96, No.3,

- May~June 1999, pp.361~368.
23. Chien-Hung Lin and Wen-Chih Lee, "Shear Behavior of High-Workability Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.100, No.5, Sept.~Oct. 2003, pp.599~608.
24. Rahal, K. N. and Al-Shaleh, K. S., "Minimum Transverse Reinforcement in 65MPa Concrete Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.101, No.6, Nov.~Dec. 2004, pp.872~878.
25. Anderson, N.S. and Ramirez, J. A., "Detailing of Stirrup Reinforcement", *ACI Structural Journal*, Vol.86, No.5, Sept.~Oct. 1989, pp.507~515.
26. Roller, J. J. and Russell, H. G., "Shear Strength of High-Strength concrete Beams with Web Reinforcement", *ACI Structural Journal*, Vol.87, No.2, Mar.~Apr. 1990, pp.191~198.

요 약 본 연구의 목적은 휨과 전단에 지배받는 철근콘크리트 보에서 아치작용에 의한 전단기여성분을 평가하기 위한 새로운 해석 모델의 적용성을 검증하기 위한 것이다. 새로운 모델은 전단력은 휨모멘트의 변화율이라는 관계식을 기초로, 분산트러스 이상화 기법을 이용하여 횡단면에서 베르누이(Bernoulli) 휨 평면으로부터 전단변형적합조건을 새롭게 유도하였으며, MCFT와 분산트러스 이상화를 통해 전단흐름에 의한 복부전단요소의 전단곡률을 일치시키는 전단변형적합조건을 수립하였다. 전단변형적합조건을 이용하면, 보 전단거동은 타이드아치작용과 보작용의 두 성분으로 수치적 분해 될 수 있다. 이러한 분리 접근법의 유효성은 기존 문헌에 수록된 활용 가능한 실험 자료를 통해 검증하였다. 수행 결과, 실제 측정 전단강도와 비교하였을 때 복부가 부담하는 전단강도는 훨씬 일정하며, 역학적 복부철근비와 훌륭한 선형 상관관계에 있는 것으로 나타났다. 새로운 해석 모델은 철근콘크리트 부재의 전단 거동에 영향을 미치는 각 변수나 메커니즘을 합리적으로 설명할 수 있는 모델이라고 할 수 있겠다.

핵심용어 : 트러스모델, 적압조건, 전단저항 성분, 아치작용, 철근콘크리트 보