전기로 산화슬래그 골재를 사용한 RC 보의 전단 성능에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Shear Performance of RC Beams with Electric Arc Furnace Oxidizing Slag Aggregates

이 용 준[1)] 정 찬 유[2)] 이 범 식[3)] 김 상 우[4)] 김 길 희[5)*]
Lee, Yong Jun Jeong, Chan Yu Lee, Bum Sik Kim, Sang Woo Kim, Kil Hee

Abstract

This study evaluates the shear performance of reinforced concrete beams with electric arc furnace oxidizing slag aggregates generated from iron manufacture. A total of six simple supported specimens were cast and tested in shear. The main test variables were the type of aggregates and the amount of shear reinforcements. The specimens under four point loading had a shear span-to-depth ratio of 2.5 and a rectangular section with a width of 200mm and an effective depth of 300mm. Existing equations to predict the shear strength of the specimens were used in this study. Furthermore, a finite element analysis using shear analytical model was performed to trace the shear behavior of the specimens with electric arc furnace oxidizing aggregates. From the test results, the shear performance of specimens with electric arc furnace oxidizing aggregates is similar to that of specimens with natural aggregates.

Keywords : Electric arc furnace, Oxidizing slag aggregate, Shear, RC beams

1. 서 론

철강 산업은 그 제조 공정의 특성상 다량의 원료와 에너지를 사용할 뿐만 아니라 다양한 종류의 부산물과 폐기물을 필연적으로 발생시키고 있다. 부산물 중에서 가장 많은 양을 차지하는 슬래그는 철, 탄소, 석회석 등 재활용이 가능한 유효한 자원을 다량 포함하고 있다(김길희 등, 2007).

전기로 슬래그는 철강 생산 공정 중 전기로에서 발생되는 산업 부산물로서 주성분이 석회(CaO) 및 실리카(SiO_2)로 구성되어 일반적인 암석이나 광물의 화학조성과 유사하다. 또한 전기로 슬래그는 콘크리트와 동일한 알칼리성을 가져 골재로서의 활용 가능성이 기대되는 자원이다(김길희 등, 2007; 조성현, 2005).

전기로 슬래그는 Fig. 1과 같이 산화 정련에서 발생하는 산화슬래그와 환원 정련에서 발생하는 환원슬래그로 구분할 수 있다(김길희 등, 2007; 日本建築学会, 2005). 여기서 환원슬래그는 유리석회의 함유율이 높아 콘크리트용 골재로서 사용할 수 없지만, 산화슬래그는 유리석회(free-CaO) 및 유리마그네시아(free-MgO)의 함유량이 거의 없다. 최근에는 공정 관리를 통하여 산화슬래그와 환원슬래그를 분리할 수 있게 됨으로써 콘크리트용 골재로서의 활용 가능성이 높아졌다(류득현 등, 2009).

전기로 슬래그 골재에 관한 국내 규격으로 2011년 5월 콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재에 관한 한국산업규격(KS F 4571)이 제정되었다. 국내에서 진행된 전기로 슬래그 골재에 관련된 연구로는 에이징(aging)으로 대표되는 체적 안정성을 확보하기 위한 것이 주를 이루고 있다. 국외의 경우에도 전기로 산화슬래그 골재를 건축물의 매트콘크리트나 도로 포장 등에 활용한 예는 있지만 아직까지 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 구조부재의 적용성 평가에 관한 연구는 진행된 사례가 거의 없는 실정이다(문한영 등, 1997; 문한영 & 유정훈, 1999; 유정훈 & 최재진, 2006).

1) 정회원, 공주대학교 건축공학과 연구원
2) 정회원, 공주대학교 건축공학과 석사과정
3) 정회원, LH공사 토지주택연구원 수석연구원
4) 정회원, 공주대학교 건축공학과 연구교수
5) 정회원, 공주대학교 건축공학과 부교수, 교신저자

* Corresponding author : kimkh@kongju.ac.kr 041-521-9335
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

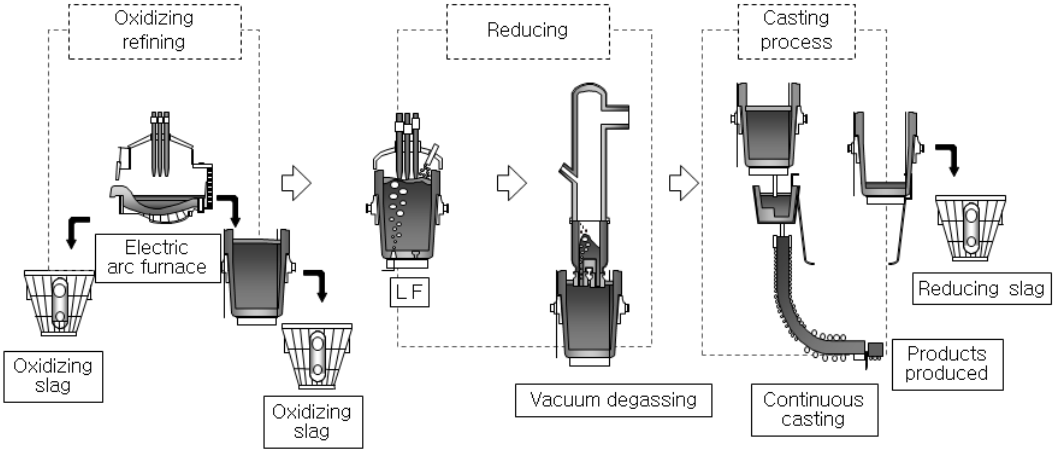


Fig. 1 Manufacturing process of steel using electric arc furnace

류득현(2010)은 전기로 산화슬래그 골재가 천연골재에 비하여 상대적으로 밀도와 강도가 높기 때문에 동일 물시멘트비에 대한 콘크리트 압축강도와 탄성계수가 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트에서 더 높은 것으로 보고하였다. 전기로 산화슬래그 골재는 높은 밀도와 강도 특성으로 인하여 방사선 차폐 콘크리트, 건물의 저층부 및 댐 등에 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구에서는 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보 부재의 전단 성능을 평가하였다. 이를 위하여 전기로 산화슬래그 굵은 골재 및 잔 골재를 사용한 철근콘크리트 보를 제작하였으며, 전단보강근 유무에 따른 보의 전단 성능을 비교하여 전기로 산화슬래그 골재의 철근콘크리트 구조 부재에의 활용 가능성을 검토하였다.

2. 실험계획

2.1 재료

이 연구에서 사용된 천연굵은골재와 천연잔골재는 절건밀도가 각각 2.59과 2.54g/cm^3, 흡수율이 각각 0.80과 0.88%이었다. 전기로 산화슬래그 굵은 골재는 최대직경이 천연골재와 동일한 25mm이었으며, 비중과 흡수율은 각각 3.78과 0.7%이었다. 전기로 산화슬래그 잔 골재의 경우에는 비중이 3.77, 흡수율이 0.2%이었다. 사용된 전기로 산화슬래그 골재의 유리석회 함유량은 0.15%로 염기도 1.51을 나타내어 골재로 인한 콘크리트의 박리 및 분말화의 가능성은 없는 것으로 확인되었다. 이는 염기도가 2.0 이하인 경우 팽창붕괴의 위험이 없는 것으로 규정한 KS기준(한국표준협회, 2011)와 JIS기준(日本建築学会, 2005)에 따른 것이다. 전기로 산화슬래그 품질기준(한국표준협회, 2011) 및 물성시험 결과는 Table 1에 나타내었으며, 실험에 사용된 콘크리트 배합표는 Table 2에 나타내었다.

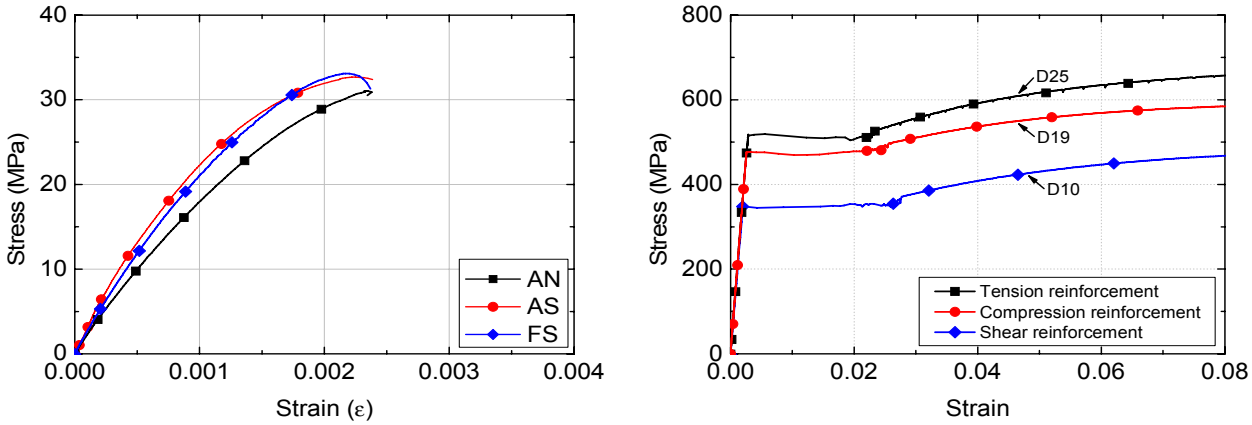
실험체에 사용된 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405(한국표준협회, 2010)에 준하여 실험체 파괴 일에 평가하였으며, 측정된 콘크리트 응력-변형률 곡선은 Fig. 2(a)에 나타내었다. 천연골재만을 사용한 AN 실험체와 전기로 산화슬래그만을 사용한 AS 실험체의 콘크리트 압

Table 1 Physical characteristic of EAF oxidizing slag.

Test items	EAF oxidizing slag aggregate			
	Coarse aggregate		Fine aggregate	
	KS F 4571	Test result	KS F 4571	Test result
Unit volume weight (kg/l)	≥ 1.6	2.20	≥ 1.8	2.66
Oven density (g/cm^3)	3.1~4.0	3.78	3.1~4.0	3.77
Absorption ratio (%)	≤ 2.0	0.70	≤ 2.0	0.20
Percentage of solid volume (%)	-	58.8	-	68.4
F. M.	-	7.00	-	2.92

Table 2 Mix design of concrete

Specimens	Design strength (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m^3)				
				W	C	S	G	AD
AN series	30	54.3	46.5	177	326	807	928	2.53
AS series	30	59.9	47.5	175	292	1197	1323	1.94
FS series	30	58.1	55.9	175	301	1185	935	2.00



(a) Concrete (b) Reinforcement

Fig. 2 Stress versus strain relationships of materials used in this test

축강도는 각각 31.7과 29.3MPa이었으며, 탄성계수는 각각 19.2와 26.3GPa을 나타내었다. 또한 천연 굵은 골재와 전기로 잔골재를 혼합하여 사용한 FS 실험체는 콘크리트 압축강도 31.6MPa과 탄성계수 23.2GPa을 나타내었다.

실험에 사용된 주철근은 항복강도가 478.9MPa인 D19와 534.8MPa인 D22 철근을 사용하였다. 전단보강근은 항복강도가 359.7MPa인 D10 철근을 사용하였다. 실험에 사용한 철근은 KS B 0802(한국표준협회, 2003)에 의거하여 기계적 성질을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 2(b)에 나타내었다.

2.2 실험계획

2.2.1 실험체

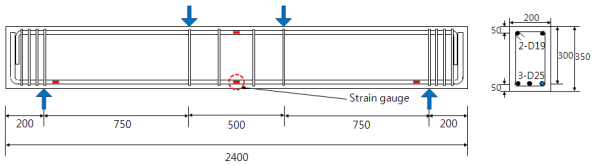
이 연구에서는 전기로 산화슬래그 골재를 사용할 경우 철근콘크리트 보의 전단성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 전단보강하지 않은 N시리즈와 전단보강한 R시리즈를 계획하였다. 실험체는 Table 3에서 보듯이 골재 종류와 전단보강근의 유·무에 따라 총 6체를 제작하였다.

실험체의 형상은 길이 2400mm, 단면 200×350mm, 실험구간 750mm, 전단경간비(a/d) 2.5로 모든 실험체가 동일하도록 계획하였다. 모든 실험체는 휨 항복 이전에

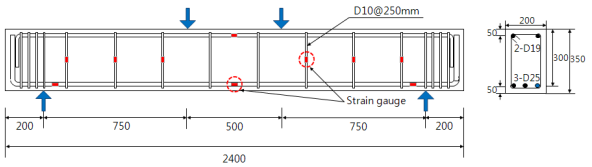
Table 3 Properties of specimens

Specimens	Aggregate types		f_{ck} (MPa)	Longitudinal reinforcement	Shear reinforcement
	Fine aggregate	Coarse aggregate			
AN-N	Natural aggregate	Natural aggregate	31.7	2-D19 f_y = 478.9MPa 3-D25 f_y = 534.8 MPa	-
AS-N	Slag aggregate*	Slag aggregate*	29.3		
FS-N	Slag aggregate*	Natural aggregate	31.6		
AN-R	Natural aggregate	Natural aggregate	31.7		D10@250mm f_{uy} = 359.7 MPa
AS-R	Slag aggregate*	Slag aggregate*	29.3		
FS-R	Slag aggregate*	Natural aggregate	31.6		

* Slag aggregate: electric arc furnace slag aggregate



(a) N-series



(b) R-series

Fig. 3 Details of specimens

전단파괴를 유도하기 위하여 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 인장철근으로 D25 철근 3개와 압축철근으로 D19 철근 2개를 배근하였다. N시리즈 실험체는 실험구간에 전단보강근을 배근하지 않았으며, R시리즈는 전단파괴가 선행할 수 있도록 실험구간에 D10 철근을 250mm 간격으로 배근하였다.

실험체의 휨 변형 및 항복 유무를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 인장철근과 압축철근 중앙부에 게이지를 부착하였다. 또한 각 실험체에 배근된 전단보강근에 게이지를 부착하여 실험구간에서의 전단파괴 유·무를 확인하였다.

2.2.2 실험 방법

실험체는 4점 가력을 받는 단순지지보로 계획하였으며, Fig. 4에 실험체 설치 상황을 나타내었다. 가력지점 사이의 거리는 500mm로 계획하였으며, 가력은 2,000kN 용량의 UTM을 이용하여 변위제어 방식으로 실험을 수행하였다. 실험체의 처짐은 실험체 중앙 하단에 설치한 LVDT 2대를 이용하여 측정하였다. 각 실험체의 전단변형을 측정하기 위하여 실험체 양쪽 실험구간에 LVDT를 이용한 전단패널을 Fig. 4와 같이 설치하였다.

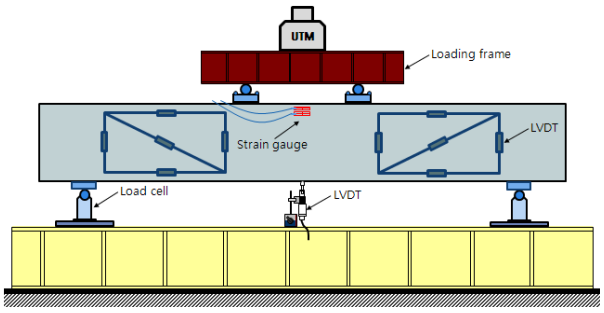
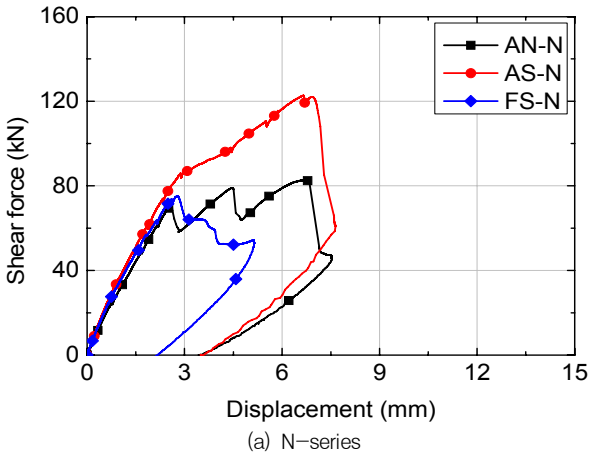


Fig. 4 Test setup of specimen

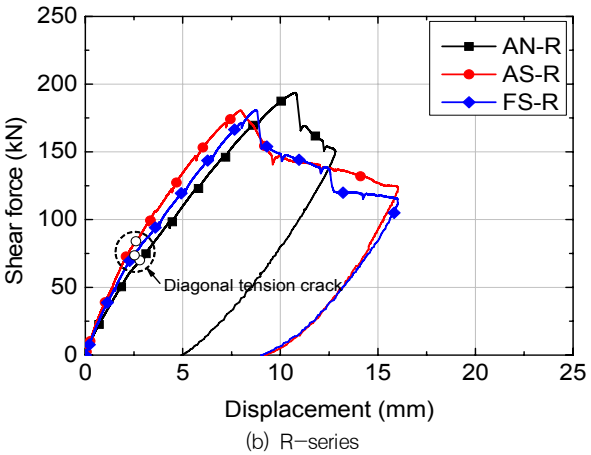
3. 실험결과

3.1 전단력-처짐 관계

실험에서 계측된 전단력-처짐 관계는 Fig. 5에 나타내었다. 모든 실험체는 휨 항복 이전에 전단파괴 되었다. Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이, 전단보강하지 않은 실험체의 경우 사인장균열 발생 이전까지는 모든 실험체에서 유사한 하중 이력 거동을 나타내었다. 사인장균열 발생 이후 FS-N 실험체는 급격한 강성 저하를 나타내었으나 AN-N과 AS-N 실험체의 경우 추가적인 내력 증가를 나타내었다. 사인장균열 이후 추가적인 내력의 증가는 파



(a) N-series



(b) R-series

Fig. 5 Shear force versus displacement relationships

괴가 진행된 한쪽 경간에서 주철근의 다우웰 작용에 의한 직접 전단전달이 이루어지는 동안 다른 경간에서 추가적인 전단력을 전달하였기 때문으로 판단된다. 따라서 이 연구에서는 실험결과를 안전측으로 평가하기 위하여 한쪽 경간이 사인장균열이 과도하게 발생하여 강성이 크게 저하되면서 전단파괴에 도달한 시점을 실험체의 전단강도로 규정하였다.

전단보강하지 않은 N시리즈 실험체의 최대 전단력은 AN-N 실험체가 70.0kN, 전기로 산화슬래그 골재만을 사용한 AS-N 실험체가 85.9kN, 전기로 산화슬래그 잔골재만 사용한 FS-N 실험체가 75.0kN을 나타내었다. 전단보강한 실험체는 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 골재종류에 관계없이 서로 유사한 전단거동을 보였다. 즉, 전단보강한 실험체의 경우 사인장균열 발생 이후 전단보강근의 영향으로 더 높은 내력과 변형능력을 나타내었으며, 이후 휨 항복 이전에 사인장균열의 폭이 증가하면서 전단파괴 되었다. 사인장균열은 천연골재만을 사용한 AN-R 실험체가 70.0kN, 전기로 산화슬래그 골재만을 사용한 AS-R실험체가 84.1kN, 전기로 산화슬래그 잔골재를 사용한 FS-R실험체가 73.6kN의 전단력에서 발생하였다. 또한 실험체가 저항한 최대 전단력은 AN-R, AS-R 및 FS-R 실험체에서 각각 193.6kN, 180.5kN 및 180.7 kN으로 약 7%의 작은 오차를 나타내었다.

3.2 전단응력-전단변형률 관계

각 실험체의 전단응력-전단변형률 관계는 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 전단응력은 외부하중에 의한 전단력을 실험체의 폭과 유효깊이로 나눈 값으로 하였으며, 전단변형률은 Fig. 4의 실험체 설치 현황에서 나타낸 것처럼 실험체의 전단위험단면을 중심으로 설치한 LVDT로부터 측정된 값을 사용하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 전단보강하지 않은 실험체의 경우 사인장균열 이전의 전단변형은 거의 관찰되지 않았으며 사인장균열 발생 이후 전단변형이 크게 증대되면서 파괴에 도달하였음을 알 수 있다.

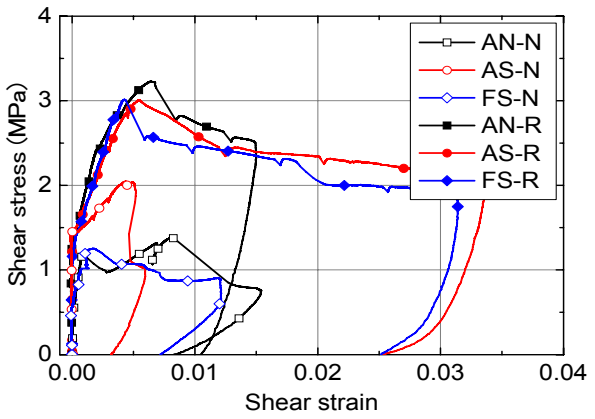


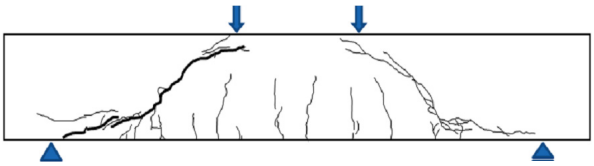
Fig. 6 Shear stress versus shear strain relationships

전단보강한 R시리즈 실험체는 전단보강 하지 않은 N시리즈 실험체와 유사하게 사인장균열이 발생하기 전에는 전단변형이 거의 없었으며, 사인장균열이 발생한 이후 강성의 감소와 함께 전단변형이 크게 증가함을 Fig. 6으로부터 확인할 수 있다. 이후 전단보강근의 기여가 한계에 도달하면서 전단응력의 감소와 함께 전단변형이 크게 증가하였다. 실험체의 전체적인 전단응력-전단변형률 관계는 골재종류에 관계없이 서로 유사하였으며, 약 0.005의 전단변형률을 전후하여 최대전단응력에 도달하였다.

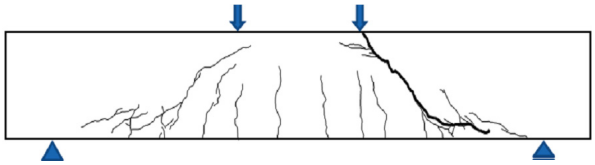
3.3 균열양상

모든 실험체의 최종 파괴양상은 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 골재 종류와 관계없이 모두 유사한 파괴양상을 나타내었다. 모든 실험체는 가력 초기에 가력지점 사이의 실험체 중앙 하단에서 초기 휨 균열이 발생하였다. 초기 휨 균열은 전단 보강하지 않은 실험체의 경우 약 25kN으로 모든 실험체에서 유사하게 발생하였으며, 전단보강한 실험체의 경우 약 25~40kN에서 발생하였다. 천연골재만을 사용한 AN-R 실험체가 가장 낮은 전단력에서 최초 휨균열이 발생하였다.

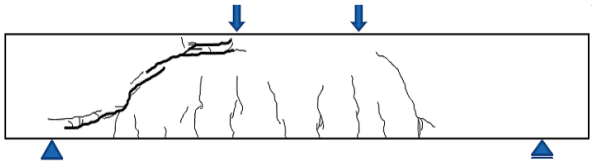
모든 실험체의 경사균열은 가력지점으로부터 보의 유효깊이(d)만큼 떨어진 전단위험단면 부근에서 발생하였다. 이후 Fig. 7에서 보는 바와 같이 사인장균열의 성장과 함께 가력대 부근의 콘크리트 압괴에 의한 파괴양상을 나타내었다. 전단보강 하지 않은 실험체는 사인장균열 발생 이후 내력이 저하되어 파괴되는 양상을 나타내었다. 반면에, 전단보강 실험체는 사인장균열 발생 이후에도 전단보강근의 기여에 의하여 균열의 수가 증가하는 상대적으로 연성적인 거동을 보였다.



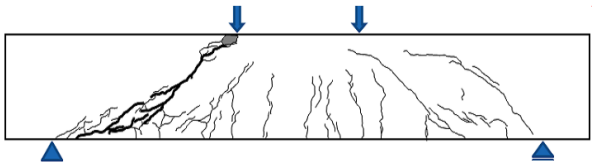
(a) AN-N



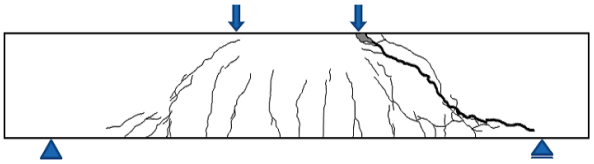
(b) AS-N



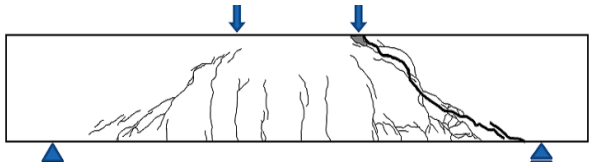
(c) FS-N



(d) AN-R



(e) AS-R



(f) FS-R

Fig. 7 Crack patterns of specimens after failure

4. 실험결과 분석

4.1 전단강도 예측

이 절에서는 현행 규준식 및 기존 제안식을 이용하여 전기로 산화슬래그를 사용한 철근콘크리트 보의 전단강도를 예측하였다. 실험체의 전단강도 예측을 위하여 ACI 318-08 규준(ACI, 2008)과 Arakawa(日本建築学会, 1999)가 제안한 식을 사용하였다.

ACI 318-08 규준(ACI, 2008)의 전단강도식은 콘크리트와 전단철근의 기여분을 각각 나누어 산정한 뒤 합하도록 규정하고 있다. 이 연구에서는 콘크리트 인장강도와 주철근비 및 전단경간비를 고려할 수 있는 상세식으로 콘크리트의 전단강도 기여분을 산정하였다. ACI 318-08 규준에서는 전단철근의 기여분을 45도 트러스 모델을 사용하도록 권고하고 있으므로, ACI 318-08 규준의 전단강도식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{ACI}=\left(0.16\sqrt{f_{ck}}+17.6\rho_t\frac{V_u d}{M_u}\right)bd+\frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (1)$$

여기서 f_{ck}는 콘크리트 압축강도, ρ_t는 인장철근비, V_u와 M_u는 각각 전단위험단면에서의 계수전단력과 계수모멘트, d는 보의 유효깊이, b는 보의 폭, A_v는 전단철근의 단면적, f_{yt}는 전단철근의 항복강도, s는 전단철근의 배근간격을 나타낸다.

Arakawa(日本建築学会, 1999)는 ACI 전단규준식과 유사하게 철근콘크리트 보의 전단강도를 콘크리트와 전단보강근의 성분으로 분리하여 다음과 같이 산정할 것을 제안하였다.

$$V_{Arakawa}=\left\{\frac{0.092k_u k_p(17.6+f_{ck})}{M/Vd+0.12}+0.85\sqrt{\rho_w f_{yt}}\right\}bjd \quad (2)$$

여기서 k_u는 크기효과를 반영하기 위한 계수로 보의 유효깊이가 400mm까지 증가할 때 1.0에서 0.72까지 감소하며, k_p는 인장철근비에 따른 보정계수로 $k_p=0.82\rho_t^{0.23}$, ρ_w는 전단보강근비, M/Vd는 보의 전단경간비, jd는 인장철근과 압축철근 중심간 거리를 나타낸다.

Table 4에 나타낸 바와 같이, 전단보강 하지 않은 N시리즈 실험체에 대하여 ACI 및 Arakawa 식의 해석결과에 대한 실험결과의 비는 각각 평균 1.15와 1.16, 변동계수 10.1%와 13.4%로 ACI 및 Arakawa 식 모두 실험결과를 비교적 잘 예측하였다. 전단보강을 한 R시리즈 실험체의 경우 ACI 규준식과 Arakawa 식에 의한 해석결과는 실험결과를 각각 평균 1.44와 1.66, 변동계수 3.6%와 3.4%로 예측하였다. Table 4에서 보는 바와 같이, 전체 실험결과는 해석결과보다 평균 약 1.3배 이상 높은 결과를 보였으며, 따라서 이 연구에서 수행한 전기로 산화슬

Table 4 Comparison of experimental and analytical results for shear strength of tested specimens

Specimens	f_{ck} (MPa)	Experimental results		Analytical results		Experimental/Analytical	
		V_{exp} (kN)	v_{exp} (MPa)	V_{ACI} (kN)	$V_{Arakuwa}$ (kN)	$\frac{V_{exp}}{V_{ACI}}$	$\frac{V_{exp}}{V_{Arakuwa}}$
AN-N	31.7	70.0	1.17	67.7	67.7	1.03	1.03
AS-N	29.3	85.9	1.43	65.6	64.4	1.31	1.33
FS-N	31.6	75.0	1.25	67.6	67.5	1.11	1.11
AN-R	31.7	193.6	3.23	129.2	112.9	1.50	1.72
AS-R	29.3	180.5	3.01	127.2	109.6	1.42	1.65
FS-R	31.6	180.7	3.01	129.1	112.7	1.40	1.60
					Mean	1.30	1.41
					COV	14.2%	20.7%

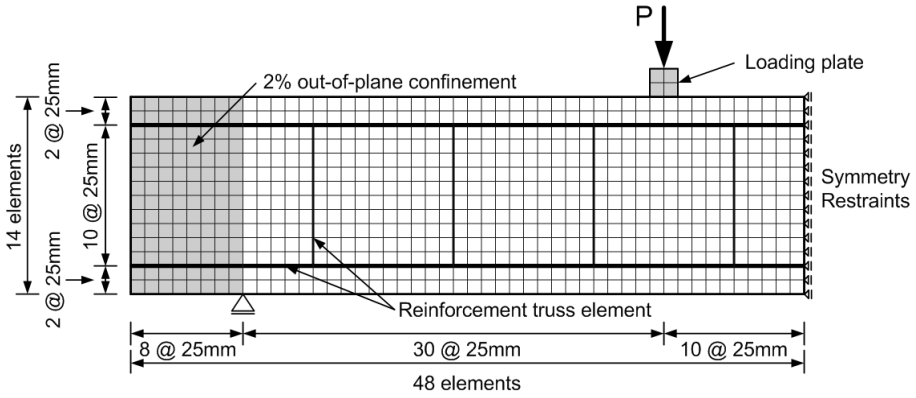


Fig. 8 FE representation of a typical specimen

래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단강도는 소요성능을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 전단거동 예측

이 연구에서는 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단거동을 예측하기 위하여 전단해석 모델을 이용한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석에 사용된 전단해석모델은 Vecchio가 개발한 응력교란구역 모델(disturbed stress field model)(Vecchio, 2001)로 수정 압축장 이론(modified compression field theory)(Vecchio & Collins, 1986)을 확장한 모델이다.

Fig. 8은 전단보강된 실험체를 모델링한 것을 나타낸다. 이 연구에서 유한요소 해석은 트러스 메커니즘이 잘 형성되는 전단보강된 R시리즈 실험체에 대해서만 수행하였다. 모델링은 FormWorks(Wong & Vecchio, 2002) 프로그램을 이용하였다. 콘크리트 요소를 모델링하기 위하여 총 676개의 직사각형 요소를 사용하였다. 주철근과 전단철근은 총 136개의 트러스 요소를 사용하여 모델링하였다. 철근 요소는 콘크리트와 완전부착으로 가정하였으며, 이를 위하여 철근 요소의 절점을 콘크리트 요소의 절점에 직접 연결하였다. 해석에 사용된 콘크리트와 철근의 구성법칙은 VecTor2(Vecchio, 2006)에서 제안된 것을 사용하였다.

천연 및 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체의 전단력-처짐 관계에 대한 실험결과와 유한요소 해석결과를 Fig. 9에 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 유한요소 해석결과는 실험체의 전단강도를 평균 0.99, 변동계수 4.6%로 매우 정확하게 예측하였으며, 전단력-변위 관계 또한 실험결과를 잘 예측하고 있음을 확인할 수 있다.

철근콘크리트 보의 전단거동은 콘크리트 압축강도, 전단보강근비, 주인장 철근비, 전단경간비와 같은 많은 변수에 영향을 받는다. 특히 골재가 달라지는 경우 콘크리트의 인장특성은 매우 중요하며, 인장특성에 직접적인 영향을 받는 전단에 대한 거동 평가는 매우 중요하다. 따라서 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보의

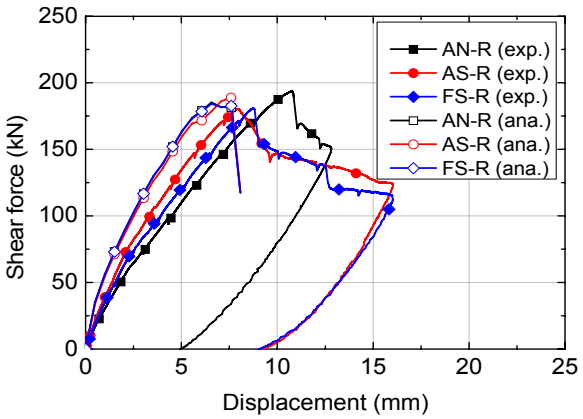


Fig. 9 Comparison of experimental and analytical results for shear behavior of R-Series specimens

전단거동에 대하여 추후 다양한 실험변수에 대한 실험적 검증이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보 부재의 골재의 차이에 따른 전단 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체는 전단철근의 유·무와 골재종류에 관계없이 천연골재를 사용한 실험체와 동등 이상의 전단강도를 나타내는 것을 확인하였다.

(2) 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체의 전단균열 진전양상과 전단변형 특성은 천연골재를 사용한 실험체와 서로 유사한 것으로 관찰되었다.

(3) 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체의 전단강도는 ACI 318-08 규준식과 Arakawa 식에 의한 해석결과보다 평균 1.3배 이상 높은 성능을 보여 소요전단 강도를 만족하는 것으로 판단된다.

(4) 전단보강된 실험체에 대하여 전단해석 모델을 사용한 비선형 유한요소해석을 수행한 결과, 전단강도 실험결과를 평균 0.99, 변동계수 4.6%로 매우 정밀하게 예측할 수 있었으며, 실험체의 전단거동 또한 비교적 잘 예측하는 것으로 확인되었다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2012-0001764). 또한 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구입니다(2012-0006682).

참고문헌

1. 김길희, 임지영, 류득현, 최성우, "전기로 산화슬래그의 국내외 이용 사례", 한국콘크리트학회지, 제19권 6호, 2007, pp.51-52.
2. 류득현, 임지영, 이용준, 이정미, 김상우, 김길희, "전기로 산화슬래그 골재를 사용한 RC 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집(구조계), 제25권 10호, 2009, pp.27-34.
3. 류득현, 전기로 산화슬래그 골재를 활용한 콘크리트의 재료 및 구조 성능 평가, 공주대학교, 박사학위논문, 2010.
4. 문한영, 유정훈, 윤희경, 이재준, "전기로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 강도에 대한 실험적 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(1), 1997, pp.401-404.
5. 문한영, 유정훈, "콘크리트용 골재로서 전기로슬래그의 적용성에 대한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제11권 3호, 1999, pp.101-111.
6. 유정훈, 최재진, "전기로슬래그 골재의 잔류팽창성에 대한 고찰", 한국건설순환자원학회 논문집, 제2권 1호, 2006, pp.124-131.
7. 조성현, 급냉 제강슬래그 잔골재를 사용한 특수 모르타르 및 콘크리트의 개발과 실용화 방안, 박사학위논문, 충남대학교, 2005, pp.17-18.
8. 한국표준협회, 콘크리트 압축시험 방법(KS F 2405), 한국표준협회, 2010.
9. 한국표준협회, 금속재료 인장시험(KS B 0802), 한국표준협회, 2003.
10. 한국표준협회, 콘크리트용 전기로 산화 슬래그 골재(KS F 4571), 한국표준협회, 2011.
11. 日本建築学会, 電気炉酸化スラグ細骨材を用いるコンクリ"[トの設計施工指針(案)・同解説, 日本建築学会, 2005.
12. 日本建築学会, 鉄筋コソクリート構造計算規準・同解説, 日本建築学会, 1999.
13. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary", American Concrete Institute, Farmington Hill, MI, 2008.
14. Vecchio, F. J. and Collins, M. P., "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", ACI Journal, Proceedings vol. 83, No. 2, 1986, pp.219-231.
15. Vecchio, F. J., "Disturbed Stress Field Model for Reinforced Concrete: Validation", Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 127, No. 4, 2001, pp.350-358.
16. Vecchio, F. J., "http://www.civ.utoronto.ca/vector/", Web address of program VecTor2, Ver.5.1, 2006.
17. Wong, P. S. and Vecchio, F. J., "VecTor2 and Form Works User's Manual", Technical Report, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada, 2002. (available at http://www.civ.utoronto.ca/vector/)

(접수일자 : 2012년 3월 19일)
(수정일자 : 2012년 6월 19일)
(심사완료일자 : 2012년 7월 19일)

요 지

이 연구에서는 철강 공정에서 발생되는 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단 성능을 평가하였다. 이를 위하여 총 6개의 단순지지형 실험체를 제작하여 전단실험을 수행하였다. 주요 실험변수는 골재의 종류와 전단철근의 유무로 하였다. 실험체는 전단경간비가 2.5, 폭 200mm, 유효깊이가 300mm인 직사각형 단면으로 4점가력을 받도록 계획하였다. 기존 강도식을 사용하여 실험체의 전단강도를 예측하였으며, 전단해석모델을 사용한 유한요소해석을 수행하여 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체의 전단거동을 예측하였다. 실험결과로부터, 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 실험체의 전단 성능은 천연골재를 사용한 실험체와 서로 유사한 것을 확인할 수 있었다.

핵심 용어 : 전기로, 산화슬래그 골재, 전단, RC 보