폐전주 재생골재의 기초물성 및 대체율에 따른 고강도영역 재생골재 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fundamental Properties of Electric Pole Recycled Aggregate(EPRA) and Characteristics of High Strength Concrete by Replacement Ratios of EPRA

이강우* 이종호* 강석표* 최세진* 최희용** 김무한***

Lee, Kang-Woo Lee, Jong-Ho Kang, Suk-Pyo Choi, Se-Jin Choi, Hee-Yong Kim, Moo-Han

ABSTRACT

In this study, it was analized and examined fundamental properties of Electric Pole Recycled Aggregate(EPRA) and hardened properties & chemical resistance with H_2SO_4 by replacement ratios of EPRA, and the results are as follows

1) In the case of electric pole recycled coarse aggregate, All fundamental properties are better than that of normal recycled aggregate and both water absorption and amount of crushed loss are with level of natural aggregate
2) As the replacement ratio of electric pole recycled fine aggregate is increased strength development is decreased. but in the case of coarse aggregate, that of it is with level of natural aggregate
3) As the replacement ratio of electric pole recycled fine aggregate is increased chemical resistance is decreased. but in the case of coarse aggregate, that of it is with level of natural aggregate

1. 서론

현재 국내에서 발생되고 있는 건설 폐기물은 매년 약 2천만톤에 이르고 있는 것으로 추정되고 있으며, 그 발생량은 매년 큰폭으로 증가하고 있는 실정[1]이다. 또한, 이러한 건설폐기물 중 주종을 이루며 매년 큰폭의 증가를 보이는 폐콘크리트는 현재까지 이의 유효이용에 대한 많은 연구가 다각적으로 이루어져 왔다. 그러나, 과거에 저강도 범위에서 설계되어 시공된 후 성능저하된 건물을 파쇄하여 생산된 일반재생골재는 낮은강도 및 높은 흡수율 등과 같은 자체물성의 열악함 때문에 재생사용에 있어서도 콘크리트용 골재로서가 아닌 건설 및 토목공사의 성토재 또는 도로 기층재 등의 일부로 사용되고 있다.

그러나, 폐전주의 경우 전신주 제조시 낮은 물시멘트비와 원심성형 및 고온양생으로 콘크리트 압축강도 500~800kgf/cm^2 수준의 고강도 범위로 생산되며, 일반 폐콘크리트와 달리 매트릭스중의 굵은골재의 비율이 매우 높은 특성을 보이고 있다. 또한, 폐전주파쇄 재생골재는 일반재생골재와는 달리 전

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사수료, G-plus 생태건축연구소 선임연구원

*** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

주라는 단일부재에서 생산되므로 골재품질의 균일성도 꾀할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서, 폐전주 재생골재는 일반적인 건축폐콘크리트 파쇄의 재생골재에 비하여 우수한 물성을 지닐것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 폐전주를 파쇄하여 생산된 재생 잔골재 및 굵은골재의 기초물성을 검토하고, 배합강도 500kgf/cm^{2}이상의 고강도 콘크리트 영역에서 재생골재의 대체율에 따른 재령별 압축강도 및 비파괴시험과 H_2SO_4에 의한 화학안정성을 검토하여 폐전주 재생골재를 사용한 고강도콘크리트 영역의 제품개발과 유효이용을 위한 기초자료로서 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험 요인 및 수준

본 연구의 실험요인 및 수준은 폐전주 재생골재의 기초물성 검토 및 대체율에 따른 경화성상과 H_2SO_4에 의한 화학안정성을 평가하기 위한 것으로서 표 1에 나타낸 바와 같이 각각의 KS 및 JIS 규준에 준하여 기초물성을 측정하였으며, 천연골재 및 일반 재생골재와의 물성을 비교·검토하였다.

또한 경화성상의 검토는 폐전주 재생골재의 대체율에 따라 재령별(7, 28, 56일) 압축강도 및 비파괴시험(초음파속도, 동탄성계수)을 하였고, 화학안정성의 검토는 동탄성계수 및 중량변화를 14일 증기양생후 5% H_2SO_4용액에 침지시킨후 침지재령별(7, 14, 21, 28일)로 각각 측정하였다.

2.2 실험배합

폐전주 재생골재의 대체율에 따른 경화성상, 화학안정성 평가를 위한 실험배합은 표 2에 나타낸 바와같이 배합설계강도 500kgf/cm^{2}이상의 고강도콘크리트 영역에서의 재생잔골재 및 재생굵은골재의 대체율에 따른 물성검토를 위해 재생골재의 대체율을 각각 0, 50, 100%의 3수준으로 설정하였으며, 물시멘트비 37.5%, 단위수량 169kg/m^{3}의 콘크리트를 목표슬럼프 10±3cm수준을 만족시키도록 소정의 고성능감수제를 첨가하였다.

2.3 사용재료

골재의 KS와 JIS 규준 및 각종골재의 기초물성은 표 3과 같으며, 폐전주 재생골재의 대체율에 따른 경화성상 및 화학안정성 검토를 위한 사용재료의 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 1. 기초물성 평가항목

측정항목	규준
비중 및 흡수율	KS F 2503, 2504 · JIS A 1102
씻기손실량	KS F 2511 · JIS A 1103
파쇄율	KS F 2541

표 2. 콘크리트 배합

구 분		골재 대체율 (%)				물 시멘트비 (%)	목표 슬럼프 (cm)	잔골 재율 (%)	단위 수량 (kg/m^3)	단위중량(kg/m^3)				
		잔골재		굵은골재						시멘트	잔골재		굵은골재	
		재생	천연	재생	천연						재생	천연	재생	천연
잔골재 대체	RS 0%	0	100	100	0	37.5	10±3	40	169	451	0	663	968	0
	RS 50%	50	50	100	0					451	307	332	968	0
	RS 100%	100	0	100	0					451	614	0	968	0
굵은 골재 대체	RG 0%	0	100	0	100	37.5	10±3	40	169	451	0	614	0	1030
	RG 50%	0	100	50	50					451	0	614	515	484
	RG 100%	0	100	100	0					451	0	663	968	0

폐전주 재생골재의 기초물성의 검토를 위하여 충남 공주 소재의 폐전주 재활용 업체에서 생산된 재생잔골재 및 재생굵은골재를 사용하였다. 일반골재와의 비교·검토를 위하여 잔골재로서 제염사, 부순모래, 일반재생모래를 사용하였고, 굵은골재로서 부순자갈, 일반재생굵은골재를 사용하였다.

또한, 대체율에 따른 경화성상 및 화학안정성 검토를 위해 시멘트로서 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 혼화제로서 국내산 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였고, 침지용액으로는 5%의 H_2SO_4용액을 사용하였다. 잔골재로서 비중 2.56의 제염사와 비중 1.96의 폐전주 재생잔골재를 사용하였고, 굵은골재로서 비중 2.65의 부순자갈과 비중 2.49의 폐전주 재생굵은골재를 사용하였다.

표 3. 골재의 KS와 JIS 규준 및 각종골재의 기초물성

골 재 종 류		조립율	비중	흡수율 (%)	씻기 손실율 (%)	파쇄율 (%)	비 고
KS 규준	잔골재	-	2.50↑	3.0↓	3.00↓	-	-
	굵은골재		2.50↑	3.0↓	-	-	
JIS 재생골재규준	잔골재		2.20↑	3.0↓	8.00↓	25~35	
	굵은골재		2.20↑	7.0↓	1.00↓	-	
잔골재	폐전주	2.87	1.96	8.2	-	-	충남공주산
	일반재생	3.01	2.37	8.9	7.00		대전재활용센터
	천연	2.64	2.57	1.0	0.90		심천산
	부순	2.87	2.58	1.4	0.90		대전산
굵은골재	폐전주	7.04	2.49	4.4	0.24	17.2	충남공주산
	일반재생	7.08	2.32	5.9	1.43	28.9	대전재활용센터
	천연	7.24	2.60	1.7	-	18.5	미사리산
	부순	7.22	2.59	2.4	0.10	-	대전산

표 4. 대체율별 검토를 위한 사용재료의 물리적 성질

시멘트		· 1종 포틀랜드시멘트, 비중 : 3.15, 분말도 : 3,680cm^2/g
고성능감수제		· 나프탈렌계, 비중 : 1.16, pH : 7.56F 2503
잔골재	천연	· 입경 : 5mm, 비중 : 2.56, 조립율 : 3.05, 인천산 제염사
	폐전주	· 입경 : 5mm, 비중 : 1.96, 조립율 : 2.72, 충남공주산
굵은골재	부순	· 입경 : 20mm, 비중 : 2.65, 조립율 : 6.50, 퇴촌산
	폐전주	· 입경 : 25mm, 비중 : 2.49, 조립율 : 6.86, 충남공주산

2.4 비빔방법 및 양생방법

비빔은 용량 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르터 비빔을 행한후 골재를 투입하는 방법을 선정하여 재료의 균질성을 확보하고자 하였으며, 진동다짐이 가능하도록 목표 슬럼프 10±3cm 수준을 만족시키는 소정량의 고성능감수제를 첨가하였다. 토출후 공시체 제작시 30초간 진동다짐을 실시하였으며, 소정의 양생기간 동안 양생온도 50℃, 상대습도 100%의 항온·항습기에서 증기양생을 실시하였다.

3. 실험결과의 분석 및 검토

3.1 폐전주 재생골재의 기초물성 분석 및 검토

1) 비중 및 흡수율

그림 1은 골재종류에 따른 비중의 측정결과를 나타낸 것으로 잔골재의 경우 비중 1.96으로 JIS 재생골재 규준치인 비중 2.20이상을 만족하지 못하고 있으나, 폐전주 재생굵은골재의 경우 비중 2.49로 JIS 재생골재 규준치인 비중 2.20이상을 만족하며 KS 규준 2.50과도 유사한 수준을 보이고 있다.

그림 2는 골재종류에 따른 흡수율 측정결과를 나타낸 것으로, 잔골재 및 굵은골재의 흡수율은 각각

8.2%, 4.4%로 나타나 잔골재의 경우 JIS의 재생골재 규준치인 3.0%를 만족하지 못하였으나, 굵은골재의 경우에는 규준치 7.0%이하를 만족시켰다. 또한, 일반재생골재와 비교할 때 상대적으로 흡수율이 양호한 것으로 나타났다.

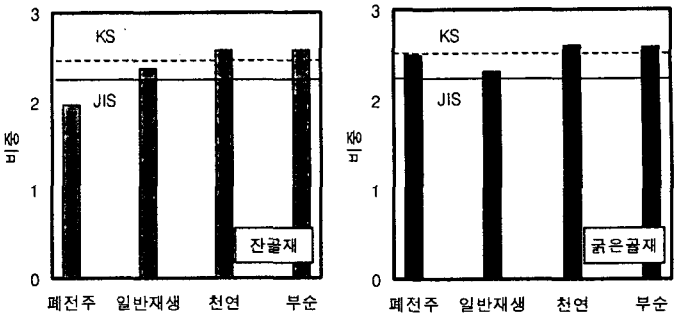

그림 1. 골재종류에 따른 비중의 측정결과

2) 씻기손실량

그림 3은 굵은골재의 종류에 따른 씻기손실율 측정결과를 나타낸 것으로 폐전주의 경우 0.24%의 수준으로 나타나 JIS의 재생골재 규준치인 1.0%이하를 만족하는 우수한 특성을 보이며, 씻기손실율 1.43%의 일반재생골재에 비하여 매우 낮은 값을 보이고 있다. 따라서 골재에 함유된 미립분이나 불순물로 인한 강도저하 및 비빔시 단위수량 증가 등의 현상을 상대적으로 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

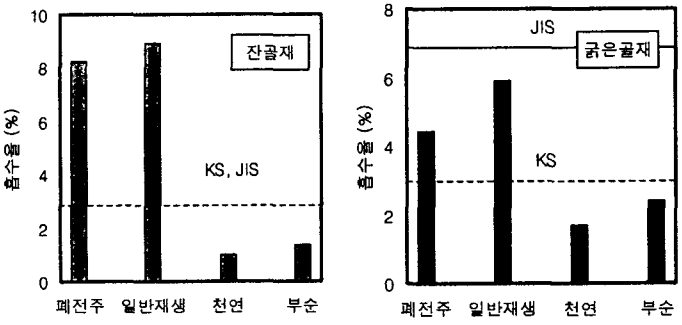

그림 2. 골재종류에 따른 흡수율의 측정결과

3) 파쇄율

그림 4는 굵은골재의 종류에 따른 파쇄율 측정결과를 나타낸 것으로 폐전주 재생골재의 경우 17.2%의 수준으로 18.5%의 수준인 천연강자갈보다 양호한 수준으로 나타나고 있으며, 28.9%의 수준인 일반재생골재에 비해 폐전주 재생골재 자체의 강도가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

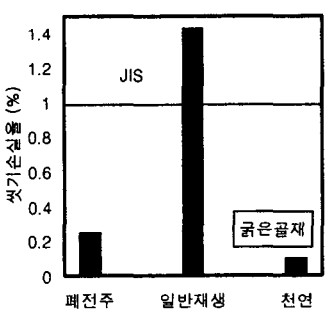

그림 3. 골재종류에 따른 씻기 손실율의 측정결과

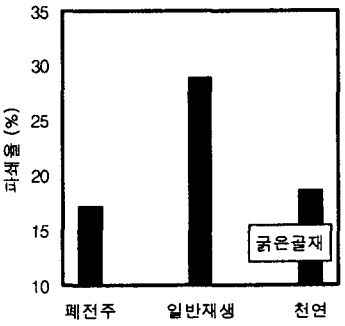

그림 4. 골재종류에 따른 파쇄율의 측정결과

이는 일반재생골재와는 달리 폐전주의 경우 전신주가 낮은 물시멘트비와 원심성형 및 고온양생으로 제조되어 콘크리트 압축강도 500~800kgf/cm^2 수준의 고강도 범위이며, 전신주라는 단일부재에서 균질한 품질의 재생골재가 생산되었기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 폐전주 재생골재의 대체율에 따른 경화성상의 분석 및 검토

1) 압축강도의 분석 및 검토

그림 5는 재령별 재생골재 대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 굵은골재를 대체한 경

우 재령 28일에 대체율 0, 50, 100%에 대하여 각각 623, 594, 611kgf/cm^{2}으로 나타나 각각의 재령에 있어 대체로 유사한 강도를 발현하고 있으며 잔골재 대체의 경우에 비하여 상대적으로 높은 압축강도를 발현하고 있다. 그러나 잔골재 대체는 재령 28일의 경우 대체율 0, 50, 100%에 대하여 각각 611, 590, 559kgf/cm^{2}의 수준으로 대체율이 증가할수록 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 이는 재생굵은골재의 경우 강도에 영향을 미치는 비중, 흡수율 및 파쇄율 등이 천연골재와 유사한 반면, 재생잔골재의 경우 규준치을 만족시키지 못하는 낮은 비중 및 높은 흡수율을 가지고 있어 강도발현에 악영향을 미쳤기 때문으로 사료된다.

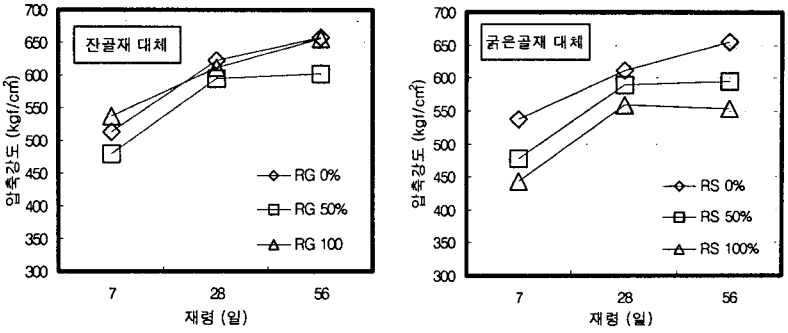

그림 5. 재령별 재생골재 대체율에 따른 압축강도의 변화

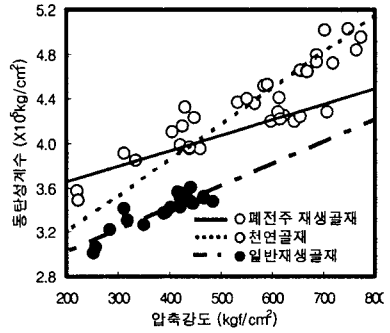

그림 6. 압축강도와 동탄성계수와의 상관관계

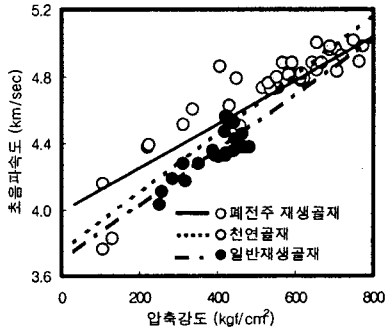

그림 7. 압축강도와 초음파속도와의 상관관계

2) 압축강도와 비파괴시험의 상관관계 분석 및 검토

그림 6 및 그림 7은 물시멘트비 37.5%의 폐전주 재생굵은골재를 사용한 콘크리트와 물시멘트비 37.5% 내외의 유사 물시멘트비 영역대에서 천연골재, 일반 재생골재를 사용한 각각의 콘크리트의 동탄성계수 및 초음파속도를 압축강도와의 상관관계로 나타낸 것이다.

동탄성계수의 경우 천연골재를 사용한 콘크리트와 비교할 때 다소 낮은 값을 나타내고 있으나, 일반재생골재를 사용한 콘크리트에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 초음파속도의 경우 역시 동탄성계수의 경우와 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 폐전주 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우 일반 재생골재의 콘크리트에 비하여 골재자체의 강도가 높으며, 골재내에 포함된 미분 및 모르터 부분의 함량이 상대적으로 낮아 일반재생골재 콘크리트에 비하여 치밀한 콘크리트의 제조가 가능했고, 콘크리트 제조시 낮은 잔골재율을 선정하여 콘크리트 중의 골재가 차지하는 비율이 상대적으로 높았기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 일반재생골재와 비교할 때 폐전주 재생골재의 사용시 탄성계수의 저하에서 발생하는 부재의 휨, 크리프 및 건조수축에 대한 저항성의 확보를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 H_2SO_4에 의한 화학안정성 분석 및 검토

그림 8은 H_2SO_4 침지재령별 재생골재 대체율에 따른 상대동탄성계수를 나타낸 것으로 재생잔골재의 경우 대체율이 증가할수록 동탄성계수가 급격히 저하하는 것으로 나타나고 있으나, 폐전주 재생굵은골재의 경우 대체율에 관계 없이 대체로 유사한 수준의 감소를 보이고 있으며, 재생잔골재의 대체가

재생굵은골재 대체의 경우에 비하여 상대적으로 동탄성계수의 저하가 급격한 것으로 나타났다.

또한, 그림 9는 H_2SO_4 침지재령별 재생골재 대체율에 따른 중량감소율을 나타낸 것으로 동탄성계수와 유사한 경향으로 저하하는 것으로 나타났다.

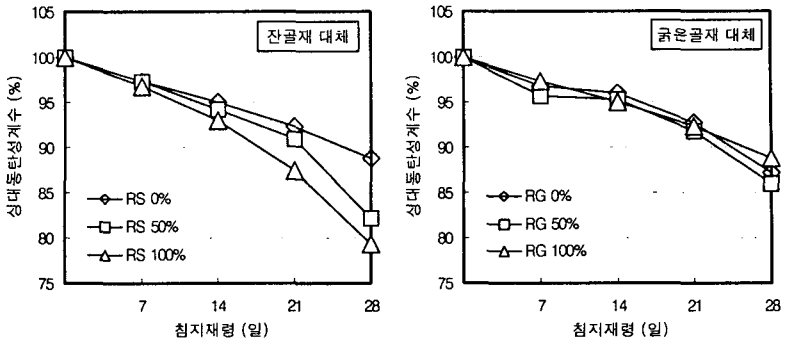

그림 8. H_2SO_4침지재령별 재생골재 대체율에 따른 상대동탄성계수의 변화

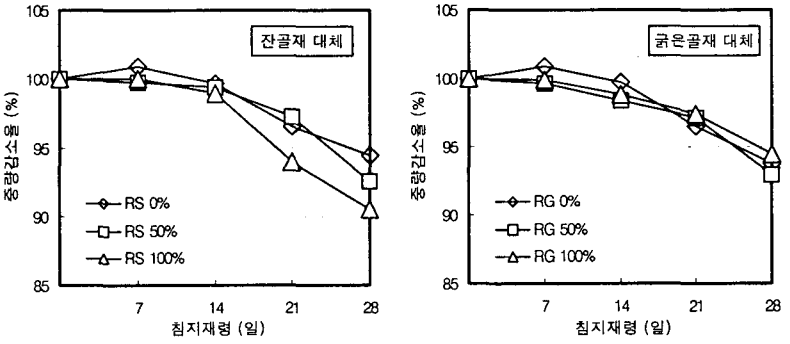

그림 9. H_2SO_4침지재령별 재생골재 대체율에 따른 중량감소율의 변화

4. 결론

폐전주 재생골재의 기초물성 검토 및 폐전주 재생골재의 대체율에 따른 경화성상, 화학안정성의 분석 및 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폐전주 재생잔골재는 물성이 열악한 것으로 나타났으나 폐전주 재생굵은골재는 비중, 흡수율, 파쇄율 및 씻기손실량이 일반재생골재에 비하여 우수하였고, 파쇄율 검토결과 골재 자체의 강도가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

2) 폐전주 재생잔골재의 경우 대체율이 증가할수록 압축강도도 저하하였으나, 굵은골재는 대체율에 관계없이 대체로 유사한 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

3) 폐전주 재생골재를 사용한 콘크리트의 초음파속도 및 동탄성계수는 천연골재의 경우에 비하여 다소 낮은 값을 보이고 있으나 일반재생골재에 비하여 우수하여 탄성계수의 저하에서 발생하는 부재의 휨, 크리프 및 건조수축에 대한 저항성의 확보를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

4) H_2SO_4 침지재령별 폐전주 재생골재 대체율에 따른 동탄성계수는 잔골재의 경우 대체율이 증가할수록 급격히 저하하였으나, 굵은골재 대체의 경우 대체율에 관계 없이 유사한 수준으로 저하하였으며 중량감소율의 변화도 이와 유사하였다.

참고문헌

1) 건설산업 폐기물의 리싸이클링 시스템 및 재활용 기술 개발에 관한 연구, 건설교통부, pp.17~46, 1997.8
2) 岸谷孝一 外, コンクリート構造物耐久性のシリーズ『化學的 腐食』, 技報堂出版, 1986.4
3) T.C.Hansen, E.Boegh Elasticity and Drying Shrinkage of Recycled Aggregate Concrete, ACI journal, Sep-Oct, 1985, 648~652
4) 金武漢 外, 実機再活用プラントで生産された再生骨材の品質評価に関する研究, 日本建築學會大会學術講演梗概集 A-1,日本建築學會(AIJ), 1998.9