

물성조사와 폴리머 시멘트 몰타르 제조를 통한 FRP폐기물의 재활용 기술개발

김용섭 †

홍익대학교 조선해양공학과

Development of FRP Waste Recycling Technology by Property Investigation and Polymer Cement Mortar Manufacturing

Yong-Seop Kim

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Hong Ik University

Abstract

This study has investigated physical and chemical properties of FRP waste, has manufactured polymer cement mortar using a crushed waste with sand and has evaluated its capability to develop the economical waste recycling technology. The study has investigated tension strength, hardness test and impact test as physical properties and also thermogravimetric characteristics and analyzed infrared spectroscopy as chemical properties. Then the study has manufactured polymer cement mortar and has analyzed how the FRP waste fine aggregate replacement ratio has an effect on compression strength. Noticing admixture can complement strength drop occurred by the FRP waste fine aggregate replacement, the study examined an optimum rate of admixture addition and its reaction through electron microscope photos.

※Keywords: Polymer cement(폴리머시멘트), FRP waste(FRP 폐기물), compression strength(압축강도), admixture(혼화제)

1. 서언

FRP는 중량에 비하여 강도가 높고 내식성이 강

하며 성형이 용이한 특성 때문에 소형 어선을 중심으로 선박 건조에도 많이 활용되어 왔다. 1970년대 후반부터 정책적으로 건조되기 시작한 FRP 어선은 그 후 건조량이 계속 증가하여 1990년에 6,647척에 19,156톤, 1999년에는 46,413척에 136,715톤에 달하고 있다(해양수산부 2000). 최근 어업의 형태가 잡는 어업에서 기르는 어업으로

접수일: 2003년 1월 6일, 승인일: 2003년 2월 7일

† 주저자, E-mail: yoskim@hongik.ac.kr

Tel: 041-860-2546

로 전환 되었고 주변 국가와의 어업협정 체결에 의한 어선 감축을 내용으로 하는 구조조정, 그리고 FRP선의 내구연한을 강선과 같이 20년으로 가정하면 폐선대상 선박은 수만 척으로 추정된다. 그러나 실제로 폐선처리가 제대로 이루어지지 않기 때문에 항구 내에 방치된 폐선박에 의하여 발생하는 환경오염, 안전사고, 항만공간의 활용도 저하 등의 피해는 그 정도가 심각한 상태여서 이에 대한 대책이 시급하다. 현재 정부 관련 기관에서 폐선처리를 위해 여러 가지로 노력하고 있음에도 불구하고 그 효과가 매우 작은 이유는 처리 방법이 소각 후 잔재물을 매립하는 일반폐기물 처리 방식과 동일하기 때문이다. FRP는 고분자물질인 합성수지와 불연성 물질인 유리섬유를 주원료로 제작되는데 FRP용 수지는 열경화성이어서 기존의 일반 소각방식으로는 소각이 잘 되지 않으므로 불연성 물질인 유리섬유와 함께 합성수지가 배출되기 때문에 소각의 장점인 강량효과가 별로 나타나지 않아서 소각 잔재물의 재처리를 위한 매립에 소요되는 비용이 크게 발생하며 연료비 부담까지 크므로 경제성이 없어서 폐기물 처리 업체에서 FRP 폐선 처리를 기피하고 있는 실정이다. 또 배기가스에 의한 공해방지 설비가 취약하여 민원이 발생하여 처리 설비의 운전이 제대로 되지 않는 것도 FRP 폐선처리 부진의 한 원인이 되고 있다. FRP폐선 처리가 활발하게 이루어지기 위해서는 재활용을 통한 경제성이 있는 처리방법의 개발이 필요하다. FRP 재활용과 관련된 국내외의 연구 개발과 응용사례를 살펴보면 다음과 같다. Kanemasa(2002)는 일본에서 현재까지 개발되어 현장에서 실용화되고 있는 기술을 총 정리하여 소개하는 책을 발간하였고, 野間口 秉政(2001)은 미국에서 FRP 폐기물을 중심으로 한 재활용 기술동향을 분석하고 시장 개발을 위한 방안 등을 논의하였다. 이러한 정책적 측면에서의 검토와는 달리 실제로 FRP를 재활용하여 폴리머 시멘트를 제조하여 시공한 사례는 미국의 캔자스주에 있는 KSC(1997)는 재활용 된 FRP를 30wt%혼합하여 교량을 시공하였다. 이 교량은 Honeycomb 이라는 육각형구조물과 사다리꼴 구조물을 접합시킨 형상을 하고 있으며 현재 제작단가는 전통적인 강교와 비

교하여 3배정도의 비용이 더 드나 앞으로 절반정도 낮은 단가로 시공할 수 있다고 밝혔다(Naitove 1997). FRP폐기물을 폴리머 시멘트 몰타르 원료로 이용한 예는 기존의 노후 또는 불량교각의 대체와 수리에 매우 효율적으로 사용되고 있다고 한다(Gaspari 1998). 일본의 미쓰비시 중공업은 열분해에 의한 건류가스화 방식으로 수지를 소각하여 난방용으로 열을 이용하고 남은 유리는 재생 유리원료로 재활용하는 시스템을 개발하였다(桑名幸一 1998). 또 FRP를 파쇄하여 모래 대신 세골재로 활용하거나 열분해하여 수지를 제거하고 유리섬유는 흡착제 혹은 경량골재제조에 활용하기 위한 기술이 개발되고 있고(김용섭 2002). FRP 폐기물을 활용하여 폴리머 시멘트를 제조하고 물성을 계측한 연구(中小 宗男,1996), (황택성 등 2000)들도 최근 활발하게 진행 중이다. 본 연구에서는 FRP 폐선 재재를 사용하여 제작한 재료시험용 시편을 사용하여 인장시험, 충격시험, 경도시험을 실시하였고 유리섬유의 성분을 조사하여 세골재로서 FRP폐기물 재활용 가능성을 평가한 후 FRP폐선재재를 파쇄하여 세골재로 활용한 폴리머 시멘트를 제조하여 압축강도와 함수율을 측정하였다. 그 결과 FRP 폐기물 세골재 치안을 변화가 압축강도와 함수율에 미치는 영향을 분석하였으며, FRP 폐기물 세골재 치안시 발생하는 강도저하를 보완하기 위하여 사용되는 혼화제의 첨가율 변화가 압축강도 및 함수율에 미치는 영향을 분석함으로써 적절한 혼화제 첨가율에 대해서도 조사하였고 혼화제의 작용을 규명하기 위하여 혼화제로 표면처리한 폐기물 파쇄분의 적외선 분광분석을 실시하였고 파단면에 대한 전자현미경 분석도 실시하였다.

2. 폐FRP의 물성

2.1 기계적 물성

FRP 폐선 재재를 이용하여 표점거리 25mm, 평행부 길이 31.2mm, 계측부의 폭 6.15mm, 두께 3.05mm인 강재 인장시험용 시편과 동일한 14B호 규격에 맞추어 시편을 제작하고 인장시험기를 사용하여 인장 강도를 구하고 그 결과를

Table 1 Mechanical properties of waste FRP

인장강도 (Kgf/mm ²)	충격치 (Kg-cm)	로크웰경도 (Hv)
2.50-2.80	130-150	52-58

Table 1에 나타내었다. 충격하중에 대한 저항력을 측정하기 위하여 금속 재료 충격 시험 3호와 같은 규격으로 FRP 폐선 재재를 이용하여 충격시험편을 제작하여 샤르피 충격시험기를 사용하여 충격시험을 하고 그 결과를 역시 Table 1에 나타내었다. 경도 시험법에는 브리넬 경도계, 로크웰 경도계, 비커스 경도계, 마이아 경도계 등을 이용하는 방법이 있는데, 본 시험에서는 로크웰 경도 시험기를 이용하여 경도를 측정한다. 이상의 폐FRP에 대한 기계적 물성 시험 결과를 살펴보면 20년 이상 바다 속에 떠 있었지만 기계적 물성은 별로 저하되지 않았고 따라서 재활용시에 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

2.2 화학적 특성

FRP는 내열, 내식, 고강도를 나타내는 동시에 제품의 중량을 가볍게 하기 위하여 일반적으로 그래스파이버를 보강재로 사용되고 있다. FRP를 재활용할 때 이 보강재의 특성이 매우 중요한데 보강재로 사용되는 그래스파이버는 E형으로서 SiO₂가 54%, Al₂O₃ 15%, CaO17%, MgO 5%, B₂O₃ 8%로 되어 있다(American Ceramic Society,1991).

2.2.1 열중량 특성

고분자 물질의 열분해 반응에 의한 생성물의 성분 분석이 어려운 경우에 온도 변화에 대한 질량 변화를 연속적으로 측정하여 총괄반응속도를 연구할 때 주로 사용되는 열중량 분석계를 이용하여 본 연구에서는 수지와 유리섬유 및 타르를 포함하는 잔재물의 중량비를 측정하였다. 열중량 분석계는 시험시료와 기준시료를 넣기 위한 시료용기와 시료를 가열하기 위한 노와, 노의 온도 및 온도상

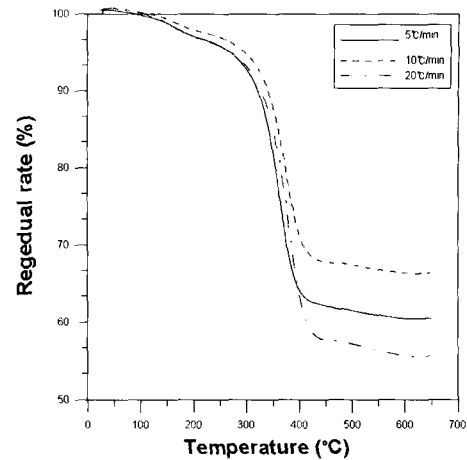


Fig. 1 Thermogravimetric characteristics of waste FRP

승속도를 조절하는 온도제어기, 시료의 온도와 질량변화를 측정하는 열전대와 저울 그리고 모든 실험결과를 기록하고 저장하기 위한 기억장치로 구성되어 있는데 Fig.1에 실험 결과를 나타내었다.

이것을 살펴보면 승온속도가 5°C/min일때 101°C에서 열분해가 시작되어 456°C에서 종료되었고, 질량 감량율은 38%이다. 승온속도가 10°C/min일때 113°C에서 열분해가 시작되어 484°C에서 종료되었고, 질량감량율은 32.42%이다. 승온속도가 20°C/min일때 127°C에서 열분해가 시작되어 495°C에서 종료되었고, 질량감량율은 42.77%인 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 수지는 질량비로 약 40%정도이며, 나머지 성분은 보강제로 사용된 유리섬유와 열분해 반응에서 생성된 타르와 차아(char) 등으로 볼 수 있고 이러한 경향은 파쇄된 폐기물 분말의 상태가 수지와 유리섬유가 결합되어 있기도 하고 분리되어 있기도 하므로 채집된 치료의 상태에 따라 영향을 받을 수 있으므로 여러 번 실험을 수행하여 대표적인 결과를 채택하였다.

2.2.2 적외선 분광분석

폴리머 시멘트 몰 타르에 FRP폐기물 세골재를 모래와 함께 사용할 때 발생하는 기계적 강도저하 문제를 보완하기 위하여 혼화제를 첨가하는데 이 혼화제의 작용을 규명하기 위하여 FRP폐기물 세

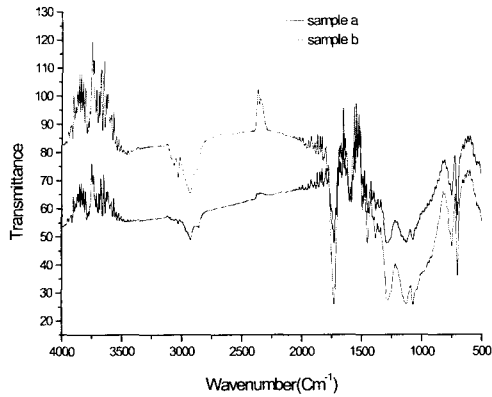


Fig. 2 A Result of infrared spectroscopy of FRP waste fine aggregate

골재에 대하여 적외선 분광분석을 실시하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이것을 살펴보면 종축은 투과율, 횡축은 파수(wavenumber)를 나타내는데 위의 그래프 a는 혼화제로 표면처리를 하지 않은 시료의 스펙트럼이며, 그래프 b는 혼화제로 표면처리한 후의 스펙트럼이다. 혼화제에 의한 특이할 만한 화학적인 작용은 없지만 웨이브 넘버 2927Cm^{-1} 부근에 나타나는 $-\text{CH}$ 에 의한 피크 옆에 또 다른 작은 피크가 3027Cm^{-1} 에 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 1721Cm^{-1} 의 $\text{C}=\text{C}$ 의 피크의 흡수가 강해진 것을 알 수 있다. 이것은 혼화제가 첨가됨으로 인해서 생기는 변화로 판단되며, 혼화제를 첨가하면서 화학적 변화를 일으켜 FRP의 물성이 변화되었다고는 판단할 수 없으며, 친수성의 작용기와 소수성의 작용기를 모두 갖는 혼화제가 첨가됨으로써 소수성의 FRP가 시멘트, 모래와 배합이 잘 이루어지는 역할을 하는 것으로 생각되어진다.

3. 폴리머 시멘트 몰타르 제조

3.1 공시체의 제작

압축시험용 공시체는 시판중인 일반 포틀랜드 시멘트와 KS L 5100에 규정되어 있는 시멘트 강도 시험용 표준사를 세골재로 사용하여 제작하였

다. 시멘트 모르타르의 제조는 KS L 5105에 의하여 시멘트-모래의 비를 1:2.45, 물-시멘트비가 0.485:1이 되도록 하고 KS L 5109에 규정한 장치를 이용하여 기계적으로 혼합하고 흐름도를 측정하였다. 흐름도는 KS L 5111에 규정되어 있는 장치를 이용하여 KS F 2410에 규정된 시험 방법에 따라 측정하였다. 공시체는 FRP파쇄분이 전혀 혼합되지 않은 것, FRP파쇄분이 10%, 15%, 20% 혼합된 것 그리고 각각의 FRP파쇄분 혼합비율에 대하여 혼화제를 10%, 15%, 20% 씩 첨가한 것 즉 전체 13종류에 대해 각 종류별로 10개씩 130개를 제작하여 시험하여 평균값을 취하므로써 그 결과에 대한 신뢰도를 강화하였다. 흐름도 측정이 끝나면 바로 시멘트 몰타르를 혼합용 장치 속에 넣고 15초간 다시 반죽하여 흐름도 측정 동안 굳은 것을 풀어준 다음 KS L 5105에 규정된 공시체 성형용 몰드($50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$)에 넣고, 다짐봉으로 다져서 공시체를 제작한다. 이렇게 제작된 압축시험용 공시체는 KS L 5105에 규정에 따라 2일간의 항온항습장치를 이용한 습윤양생(20°C 80% RH), 5일간 수중양생(50% RH), 21일간 기건양생(50% RH)의 과정에 따라 표준 양생된다. 이렇게 제작된 공시체를 하중이 고르게 가해져서 부분적 파괴가 미리 발생하지 않도록 고안된 지그에 넣어 최고하중 13톤까지 가할 수 있는 SFM-20 만능재료시험기를 사용하여 압축강도를 측정하였다. 또한 KS F 2451에 따라 공시체를 $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 항량이 될 때까지 건조한 후 중량을 측정하고, 공시체를 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 동안 침수시킨 다음 중량을 측정하여 물이 흡수되기 전후의 중량차를 물이 흡수되지 않은 공시체 무게로 나누어서 흡수율을 구한다. FRP파쇄분이 혼합되면 물-시멘트비가 증가하고 따라서 흐름도가 변화할 수 있는데 본 시험에서는 FRP파쇄분과 혼화제가 첨가되어도 이들 물질이 첨가되지 않았을 때의 흐름도를 기준으로 하고 물-시멘트비를 변화시켜서 일정한 흐름도를 유지하게 하였다.

3.2 시험 결과 및 고찰

강도에 비하여 비중이 지나치게 큰 일반 콘크리트의 문제점을 보완하기 위하여 개발된 것이 경량

콘크리트인데 천연 재료를 활용한 경량콘크리트는 현재 국내에서는 수요에 비하여 공급이 매우 부족하여 수입에 의하여 그 수요를 충당하고 있어서 천연 재료를 대체하기 위한 생산 방법이 절실히 요구되고 있다. 콘크리트가 갖고 있는 단점을 개선함과 동시에 우수한 복합성능을 부여할 목적으로 제조된 것이 경량콘크리트이며, 우리나라에서는 대한건축학회가 제정한 건축공사 표준시방서에서 콘크리트의 중량경감을 목적으로 만든 기건비중 2.0이하인 콘크리트를 경량콘크리트로 정의하고 있다. Fig. 3은 FRP 세골재 혼합비율과 폴리머 시멘트 몰타르의 중량 변화를 나타낸 것이다. 종축에는 공시체의 무게(g)를 나타내었고, 횡축에는 모래 대신 치환한 FRP세골재의 중량비를 나타내고 있는데, 이것을 살펴보면 FRP 세골재 치환율이 증가함에 따라 폴리머 시멘트 몰타르의 중량은 당연히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 세골재로 사용된 모래에 비해 비중이 작은 FRP 세골재가 혼합되었고, 표면요철이 심하여 입형이 아주 불규칙한 폐 FRP 세골재의 치환으로 공극율이 증가하였기 때문으로 생각된다. 폐 FRP 세골재가 치환되지 않은 경우 공시체의 중량은 255g이고 비중은 2.040이었지만 폐 FRP 세골재가 모래 대신 중량비로 10wt% 치환되어 혼합된 경우 공시체의 중량은 210g이고 비중은 1.68로 비중이 17.65% 감소하였다. 폐 FRP 세골재가 20% 치환된 경우 중량은 173g이고 비중은 1.384이며 비중이 32.35% 감소하였다. 따라서 경량건축재료로서 KS규정에 명시된 비중이 2.0이하로 되어 있으므로 FRP폐기물 세골재 치환율이 10%만 되어도 중량 감소 효과는 충분한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 FRP폐기물 세골재 치환율 변화가 시멘트 몰타르 물-시멘트비에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 물-시멘트비는 시멘트 콘크리트의 강도를 결정하는 중요한 인자인데, 이것을 살펴보면 FRP 폐기물 세골재의 치환율이 증가할수록 물-시멘트비가 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 흐름도를 일정하게 유지한 상태에서 모래보다 비중이 작은 FRP 폐기물 세골재를 모래 대신 치환함으로써 표면적이 증가하였고 FRP가 모래보다 친수성이 떨어지므로 모래만을 세골재로 사용했을

때보다 배합시 물이 더 많이 필요하였기 때문이다. 혼화제를 몰과 함께 섞으면 물-시멘트비가 감소하는데 혼화제를 중량비로 10wt% 첨가했을 때 모든 폐기물 세골재 치환율에 대하여 물-시멘트비가 가장 낮게 나타났고, 그 중에서도 폐기물 세골재를 10%치환하고 혼화제를 역시 10% 첨가한 경우 물-시멘트비가 57%로서 가장 낮게 나타나서 폐기물 세골재를 전혀 치환하지 않은 값 46%에 가까워짐을 알 수 있다.

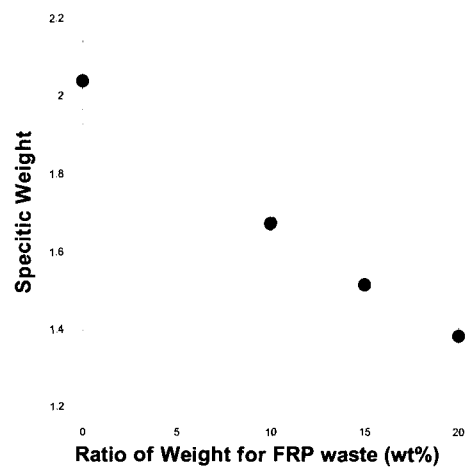


Fig. 3 Polymer cement mortar specific weight reduction rate for various FRP waste replacement ratio.

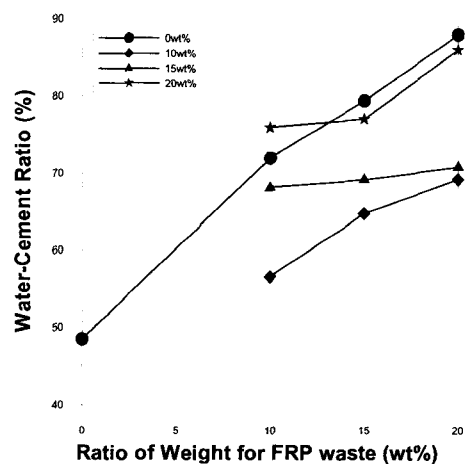


Fig. 4 Water-cement ratio for various FRP waste mixture ratio

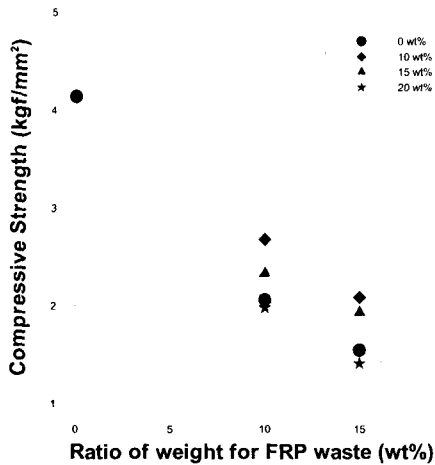


Fig. 5 Compression stress for various mixture ratio of FRP waste and admixture.

Fig. 5는 FRP 폐기물 세골재를 모래 대신 중량 비로 10%, 15%, 20% 치환시키고 각 치환율에 대하여 혼화제를 10%, 15%, 20% 첨가하여 제작한 공시체의 압축응력을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 FRP 폐기물 세골재 치환율이 0%인 경우 강도가 4.139 Kgf/mm²이고, 치환율이 10%인 경우 강도가 2.062 Kgf/mm²로 0%에 비하여 50.17% 감소하였고, 치환율이 15%인 경우 강도가 1.548Kgf/mm²로 치환율 0%에 비하여 62.59% 감소하였으며, 치환율이 20%인 경우 강도가 1.0.9 Kgf/mm²로 75.13% 감소하였다. 압축강도의 감소율은 폐기물 세골재치환율이 5%씩 증가함에 따라 약 50% 씩 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 폴리머 시멘트 몰타르 강도가 FRP세골재 치환율이 증가할수록 크게 감소하는 이유는 폐FRP 세골재 치환율이 증가됨에 따라 물-시멘트비의 증가와 시멘트 매트릭스 사이에 차지하는 시멘트 몰타르 보다 탄성계수가 작은 폐 FRP 세골재 양이 증가하였고, 또한 분쇄한 폐 FRP는 섬유상, 분말상, 파편 등의 형태로 존재하므로 시멘트 매트릭스 사이에 충전결합이 발생되었기 때문으로 생각된다(김정환 1994).

이러한 현상은 Fig. 6에 나타난 전자현미경사진의 관찰을 통하여 보다 확실하게 알 수 있는데,

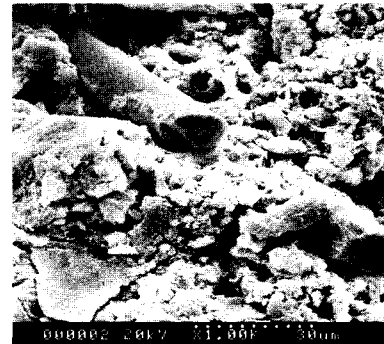


Fig. 6 A SEM photograph for cross-sectional view of test piece (before adding admixture)

사진의 좌측 상단 우측 하단에 길게 나타난 것과 같은 유리섬유와 여러 곳에 산재하고 있는 불규칙한 모양의 수지 파쇄분 등과 시멘트 사이에 결합이 제대로 되지 않아 검은 색으로 나타나고 있는 공극이 많음을 확인 할 수 있는데 이로 인하여 강도가 저하된 것으로 생각된다. 치환율이 증가함에 따라 폴리머 시멘트 몰타르의 강도가 저하되는 것을 방지하려면 배합 시 시멘트와 세골재 사이에 물이 잘 혼합될 수 있도록 친수성을 높여 물-시멘트비의 증가를 막고 결합력을 높일 수 있는 혼화제의 사용이 필요하며 혼화제를 이용하면 강도를 100%까지 높일 수 있는 것으로 밝혀졌다(1998,이병기 등) FRP폐기물을 세골재로 치환했을 때 발생하는 압축강도 저하문제를 해결하기 위하여 혼화제를 첨가하였는데, Fig. 5에 나타난 것처럼 혼화제를 첨가하면 일반적으로 압축강도가 증가되는 것을 알 수 있다. 그러나 그 증가율은 첨가비율에 의하여 크게 좌우되는데 20%를 첨가한 경우 오히려 전혀 첨가하지 않은 경우보다 강도가 더 낮아졌고, 가장 강도가 크게 증가한 경우는 폐기물 세골재 치환율 10wt%에 대하여 혼화제 첨가율 10wt%로서 FRP 폐기물 세골재를 전혀 넣지 않은 경우 413.92 Kg/cm²의 64.7%인 267.82 Kg/cm²까지 압축강도가 회복되었음을 알 수 있다. 이것은 친수성이 모래에 비하여 FRP 폐기물 세골재가 떨어지므로 혼합이 제대로 되지 못하고 시멘트와의 결합력이 떨어져 공극율 등의 큰 문제점이 혼

화제에 의하여 보완된 것으로 생각된다.

Fig. 7은 폐기물 세골재와 혼화제를 각각 10% 첨가한 공시체 파단면을 전자현미경을 이용하여 촬영한 것을 나타낸 것인데 이것을 앞의 Fig.6과 비교하면 세골재와 세골재 사이의 공극율이 낮고 접착상태도 훨씬 양호해졌음을 알 수 있다.

Fig. 8은 FRP폐기물 치환율과 혼화제 첨가율 변화가 흡수율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 FRP 폐기물 세골재의 치환율이 증가함에 따라 흡수율은 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 FRP 폐기물 세골재의 사용에 따라

물-시멘트비가 증가하여 경화 후 공시체내에 많은 기공이 생성되었기 때문으로 생각된다. 반면에 혼화제를 첨가한 경우에는 혼화제 첨가량이 증가함에 따라 흡수율이 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 내수성이 우수한 혼화제와 골재간의 계면, 골재와 시멘트 간의 계면 및 시멘트 입자간의 계면에 co-matrix 상으로 결합견고하게 용착됨으로써 나타나는 현상으로 생각된다(황의환,1994).

6. 결론

FRP폐기물을 파쇄하여 물리적 화학적 물성을 조사하고 이것을 세골재로 모래와 함께 사용하여 폴리머 시멘트 몰타르를 제조하고 폐기물 세골재 치환율과 혼화제 첨가율이 압축강도에 미치는 영향과 흡수율 등을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폐 FRP의 인장강도, 경도,충격치 등은 20년 가까이 바닷물에 잠겨있었으나 초기 강도와 크게 차이가 나지 않았으며, 수지 성분은 40%가 조금넘게 포함된 것으로 밝혀졌고, 적외선 분광분석 결과 혼화제는 시멘트 모래 등과의 배합을 원활하게 해주는 물리적인 작용을 통하여 FRP 폐기물 세골재 사용으로 인한 강도 저하를 보완해 주는 것으로 밝혀졌다.
2. 폴리머 시멘트 몰타르에 FRP 폐기물 세골재 치환율이 증가하면 비중과 압축강도는 감소하고 물-시멘트비는 증가하였다.
3. 폴리머 시멘트 몰타르의 FRP 폐기물 세골재 적절한 치환율은 중량비로 모래의 10wt% 정도로 나타났다.
4. 폴리머 시멘트 몰타르에 FRP 폐기물 세골재를 치환하고 감소한 압축강도를 보강하기 위하여 혼화제를 첨가할 경우 그 비율은 시멘트와 모래무게의 10wt%가 적절한 것으로 나타났다.
5. FRP 폐기물 세골재 치환율이 증가하면 흡수율은 증가하나 혼화제를 첨가하면 흡수율은 감소하였다.



Fig. 7 A SEM photomicrograph for cross-sectional view of test piece (admixture added)

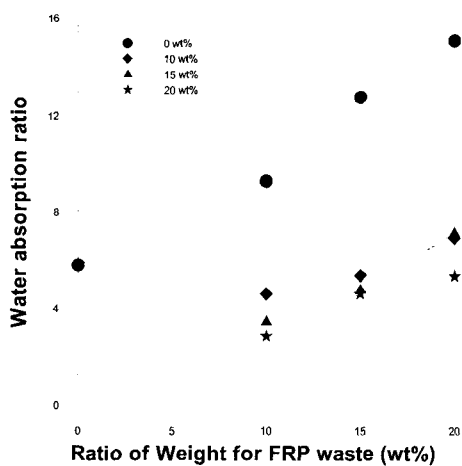


Fig. 8 Water absorption rate for various mixture ratio of FRP waste and admixture.

후 기

본 연구는 해양수산부가 지원하고 한국해양수산개발원이 주관하는 2001년도 수산특정연구개발사업에 의하여 수행되었으므로 관계 당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김용섭, 2002, "환경친화적 FRP 폐선처리 기술 개발", 해양수산부 연구 연차실적보고서
- 김정환, 1994, "고강도 시멘트 경화제의 특성에 미치는 미세골재 및 혼화재료의 영향", 콘크리 크화학논문집, Vol. 6, No. 5
- 황의환, 황택성, E.Kamaguch, 1994, "폴리머 시멘트 몰타르의 미세구조와 동결융해 저항성의 관계", 한국공업화학회지, Vol. 31, No. 9, pp. 949
- 황택성, 박진원, 이철호, 2000, "폐 FRP/석물 슬러지 복합재의 재조 및 기계적 물성에 관한 연구", Polymer, Vol. 24, No. 6, p829
- John De Gaspari, 1998, "SPI Composites Preview", Plastics Technology, January, pp. 45-47
- Kanemasa Nomaguchi, 2002, "Composite Waste Management in Japan", GPRM Composite Waste Management & Environment Conferences, April
- Matthew H. Naitove & John De Gaspari, 1997, "News from the SPI Conference EXPO", Plastics Technology Composites '97, March, pp. 32-37
- 中小 宗男, 柳啓, 福島 紋夫, 吳祥根, 鄭煥穆, 1997, "폐 FRP미분말을 사용한 콘크리트의 기초 물성 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제16권, 제2호, p633
- 野間口 秉政 2001, "米國のネットワークポリマーユソボジットの開発動向", Journal of Network Polymer, Vol. 22, No. 3, pp. 41
- 桑名幸一, 1998, "FRP 廢船處理の現實と問題点", 鉦社出版社.



< 김 용 섭 >