

초단유리섬유가 PSC 그라우트의 부식저항성능에 미치는 영향

문도영^{1*}, 김상운², 김동주³

Effect of Milled Glass Fibers on Corrosion Resistance of PSC Grout Mortar

Do-Young Moon^{1*}, Sang-Woon Kim², Dong-Joo Kim³

Abstract: In this experimental study, effect of milled glass fibers was investigated on corrosion resistance of PSC grout mortar. In order to check whether the mortar mixture with milled glass fibers satisfy the required properties as a PSC grout, time of flow, bleeding and compressive strength measured. The corrosion resistance were investigated through chloride ion migration test, mortar absorption test and surface resistivity measurement. It is confirmed that all proportions with milled glass fibers have better corrosion resistance than that with only OPC binder. Time of flow was reduced but the bleeding was increased to unacceptable level by using milled glass fibers. Consequently, the mix proportion with milled glass fibers for a PSC grout should be modified to have lower water/binder ratio.

Keywords: PSC grout, Permeability, Milled glass fibers, Chloride ion migration

1. 서 론

현재 국내의 에너지 수입 의존도는 약 97%에 달하고 있으며, 폐기물에너지지를 제외하면 국가 에너지 자립도는 1% 내외인 것으로 추정되고 있다. 이에 따라 국내에서는 현재 기술의 완성도 및 경제성이 우수한 풍력발전이 투자가 크게 확대되고 있다(Sung and Lee, 2013). 풍력발전기의 고출력, 대단지화 등 여러 기술이 발전함에 있어 육상풍력의 한계로 해상풍력으로 변화하고 있는 추세이다(Nah et al., 2011). 해상풍력은 육상풍력과 달리 지반 형태 및 발전 용량에 걸맞은 지지구조가 요구되고 있으며, 그 중 콘크리트 중력식 지지구조의 경우 프리캐스트 세그먼트 PSC(Pre-Stressed Concrete) 공법으로 제작하여 시공되어 지고 있다. 해상 시공 시 바닷물에 포함되어 있는 많은 염화물들은 PSC 강선의 부식을 가속화할 것으로 우려된다. 특히 간만대에 위치한 강재는 심각한 부식이 우려된다. 이에 따라 부식저항성능이 우수한 PSC 그라우트 개발이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 PSC 그라우트에 비하여 더 나은 내부식성능을 갖는 PSC 그라우트를 개발하기 위하여 유리입자를 포함한 PSC 그라우트의 내부식성능을 시험

하였다.

장섬유 형태의 유리섬유는 콘크리트의 강알칼리에 의하여 사이징 재료가 용해되어 침투가 용이해지면 균열 등의 물리적 손상이 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 미립화 되어 사용될 경우에는 수산화칼슘과 반응하여 수화생성물을 생성시키고, 생성된 수화생성물은 작은 공극을 메우는 포졸란 반응을 일으킴으로서, 콘크리트의 물리적 특성을 향상시키며, 내부의 조직이 치밀해져 투수성이 낮아지고, 염화물 등 많은 유해물질의 침투를 억제하는데 기여한다(Park et al., 2002). 또한 유리가 굳지 않은 콘크리트에 사용될 경우 수화열 감소와 블리딩 저감 효과가 있다고 보고된바 있다(Kang et al., 2008). 본 논문은 유리재료 중 초단유리섬유(Milled glass fiber, 이하 MGF라 함.)에 관한 연구를 수행하였다. 먼저, 다양한 MGF가 혼입된 PSC 그라우트 배합에 대하여 소요성능을 확보하고 있는지 검토하고, 소요성능을 보유한 배합에 대하여 부식저항성능을 평가하였다. 부식저항성능은 염소이온 확산 시험, 몰탈흡수시험, 표면전기저항시험을 기반으로 평가하였다.

2. PSC 그라우트 배합 및 실험개요

이 논문에서는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 PSC 그라우트에 MGF가 혼입되었을 때 소요성능 및 부식저항성능

¹정회원, 경성대학교 토목공학과 조교수, 교신저자

²학생회원, 경성대학교 토목공학과 석사과정

³정회원, 세종대학교 건설환경공학과 부교수

*Corresponding author: dymoon@ks.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2015년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

에 미치는 영향을 실험, 평가하였다. 배합설계에서 MGF는 바인더로 취급하였다. Table 1은 본 논문에서 실험한 배합표를 나타내고 있다. 기본 배합으로서 MGF가 전혀 혼입되지 않은 배합은 오직 OPC가 바인더인 배합으로 “OPC”이라 명명하였다. MGF가 혼입된 배합은 다음과 같이 두 가지 배합이다.

첫 번째 배합은 물-바인더 비는 동일하게 하고 시멘트를 MGF로 치환한 배합으로 시멘트 질량에 대하여 치환비율을 2%, 5%, 10%로 하였다. 이 배합은 시멘트를 MGF로 치환한 배합이므로 배합명은 RE로 하였다. 또한 치환비율을 배합명에 추가하였다. 그러므로 Table 1에서 RE2는 시멘트량의 2%가 MGF로 치환된 배합으로 의미한다.

두 번째 배합은 물-바인더 비를 변수로 하였으며, 바인더인 MGF를 시멘트 질량에 대하여 2%, 5%, 10%를 추가함으로서 물-바인더 비는 OPC 배합의 물-바인더 비 52.7%에서 51.3%, 49.5%, 46.9%가 된다. 배합명은 물-바인더 비가 변화되므로 WB으로 명명하고, 뒤에 있는 숫자는 MGF의 추가량이다. 따라서 WB2는 시멘트량의 2%에 해당하는 MGF가 바인더로 추가된 배합을 의미한다.

사용된 시멘트는 S사의 제품으로 KS L 5201에 규정된 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 평균 입경 0.3 mm(Table 1에서 Aggregate A)와 0.6 mm(Table 1에서 Aggregate B)의 국내산 규사를 사용하였다. MGF의 평균길이는 제작사로부터 제공받았으며, 13.5 μm이다.

PSC구조에서 그라우트를 시공하는 목적은 덕트 내부를 밀실하게 채우는 것이다. 따라서 우수한 그라우트가 되기 위해서는 적절한 강도와 유동성이 우수하면서도, 경화시 체적변화가 없어야 하고, 블리딩이 적어야 한다. 따라서 PSC 그라우트로서 압축강도, 유동성, 팽창성, 블리딩률은 PSC 그라우트로서 반드시 충족되어야 하는 매우 중요한 소요성능이다. 따라서 본 연구에서는 부식저항성능을 평가하기 이전에 PSC 그라우트로서 상기한 주요한 소요성능을 평가하고자 하였다. 그러나 본 배합에 사용된 재료는 모두 비팽창성재료로서 팽창률 실험이 불필요하므로 이는 제외하고 유동성, 블리딩률, 압축강도만을 평가하였다.

PSC 그라우트의 부식저항성능은 염소이온확산시험, 몰탈 흡수시험, 표면전기저항시험을 근거로 하여 평가하였다. 염소이온확산시험은 전위차를 이용한 시험인 NT Build 492의 시험규정에 따라 시험하였다. 몰탈흡수시험은 ASTM C 1403의 시험규정을 따랐으며, 표면전기저항시험은 FM 5-578 규정에 따라 실험하였다.

3. 소요성능평가

3.1 성능평가기준

국내에서 해상구조물에 사용되는 그라우트에 대한 성능평가기준은 아직 마련되어 있지 않다. 국내에서 교량 등 토목구조물의 시공시 PSC 그라우트의 소요성능평가는 대부분 KS F 4044에서 규정하고 있는 “수경성 시멘트 무수축 그라우트”의 성능기준을 참고하고 있다. 본 연구에서는 해상구조물에 사용하는 PSC 그라우트임을 감안하여 KS F 4044에서 규정하고 있는 성능기준 보다 엄격한 기준을 설정하여 평가하였다 (Table 2 참고).

3.2 소요성능평가 시험방법

유동성, 블리딩 및 압축강도 시험방법은 KS F 4044에서 규정하고 있는 방법을 따라 수행한다. 유동성은 유하시간을 통해 평가하며 동일한 배합에 대해서 2회 측정하였으며, 평균치를 비교, 분석한다. 블리딩 시험은 PSC 그라우트의 재료분리 가능성을 평가하는 방법으로 시험방법에 대한 세부적인 사항

Table 2 Property requirement for PSC grout

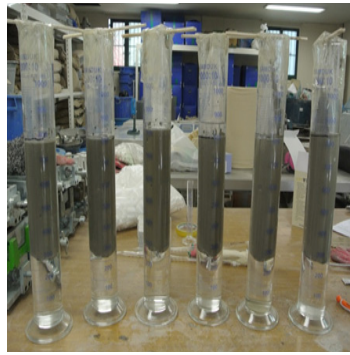
Property	KS F 4044	This study
Flow time	60 sec	30sec
Bleeding	0.5%	0.0%
Volume change	0.4%	-
Compressive strength	35MPa	40MPa

Table 1 Mix proportions for PSC grout

No.	Identification	W/B(%)	OPC(%)	M.G.F(%)	Aggregate A(%)	Aggregate B(%)	Admixture(%)
1	OPC	52.7	42.7	0			
2	RE2	52.7	40.7	2			
3	RE5	52.7	37.7	5			
4	RE10	52.7	32.7	10	40	10	7.3
5	WB2	51.3	42.7	2			
6	WB5	49.5	42.7	5			
7	WB10	46.9	42.7	10			



(a) Flow time test



(b) Bleeding test



(c) Compressive strength test

Fig. 1 Test for material property

은 KS F 2433에서 제시하고 있다. 제시된 방법에 따라 길이 500 mm 이상, 지름 50 mm의 폴리에틸렌 실린더 내부에 그라우트를 약 200 mm 높이까지 채운 후 20시간이 경과하였을 때, 블리딩수를 측정하여 식 (1)과 같이 계산한다. 동일한 변수에 대해 3회 측정하여 평균값을 제시하였다. PSC 그라우트의 압축강도는 한 번의 길이가 50 mm의 정육면체 몰탈시험체를 금형몰드에 타설한 후 24시간이 경과하여 탈형하고, 양생수조에 수침한다. 양생수조 온도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 재령 28일 후 수조에서 꺼낸 후 건조하고 실험을 수행한다. 동일한 변수에 대해 3개를 실험하였으며, 평균압축강도를 제시한다. Fig. 1은 소요성능평가를 위한 시험전경을 나타내고 있다.

$$\text{블리딩률(\%)} = \frac{B}{V} \times 100 \quad (1)$$

여기에서, V는 그라우트의 용량(mL), B는 20시간 경과 블리딩수(mL)이다.

3.3 소요성능평가 실험결과

3.3.1 유하시간 실험결과

유하시간 실험에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 오른쪽 세로축의 Percent ratio(%)는 결과 상호간의 상대평가를 위해 OPC의 결과로 다른 배합의 유하시간 결과를 나눈 비를 의미한다. 이 실험에서 고려한 모든 배합은 Table 2에 제시한 소요성능기준 30초를 만족하는 것으로 확인되었다. RE 시리즈의 유하속도를 비교하면 MGF의 치환량이 증가할수록 유하시간이 22.8초, 20.2초, 18.6초로 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

OPC 배합과 비교할 때, RE2는 유하시간이 증가하는 반면, RE5와 RE10은 유하시간이 단축되는 것으로 확인되었다. 따라서 시멘트 중량 2% 이상의 유리가 치환될 경우 유하시간이 3%~11% 단축되는 것으로 확인되었다.

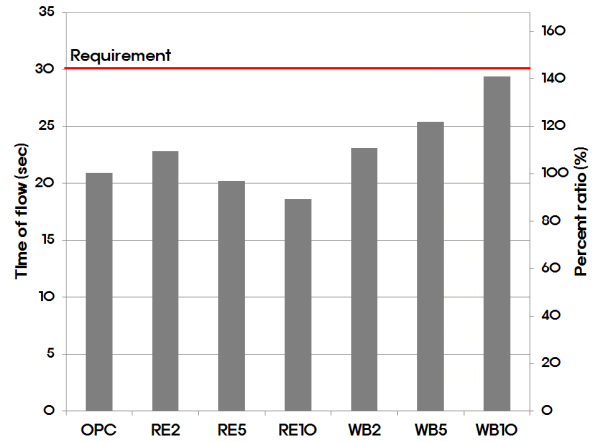


Fig. 2 Result of flow time test

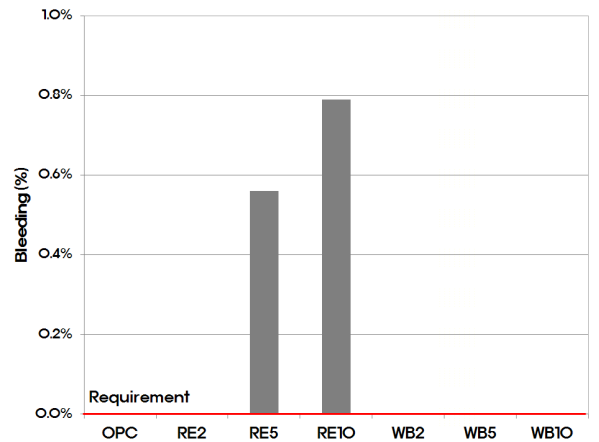


Fig. 3 Result of bleeding test

한편, WB 시리즈의 결과를 살펴보면, 물-바인더 비가 감소할수록 유하시간의 크게 증가하는 것으로 나타났다. 배합에서 물량의 감소가 원인인 것으로 판단된다.

3.3.2 블리딩 실험결과

블리딩 실험에 대한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. RE5와

RE10 두 배합을 제외한 모든 배합은 성능기준에 만족한 것으로 나타났다. RE5와 RE10 배합에서 각각 0.6%, 0.8%의 블리딩이 발생하였다. 치환량이 증가할수록 블리딩의 발생량은 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 모든 WB 배합의 결과에서는 블리딩이 발생하지 않았다.

3.3.3 압축강도 실험결과

압축강도 실험에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 실험에서 고려한 모든 배합은 성능기준에 만족하는 것으로 확인되었다. 그림과 같이 OPC와 비교 시 RE2, RE5, RE10 각각 5%, 7%, 11% 압축강도가 증가하였다.

WB2, WB5, WB10 각각 3%, 6%, 14% 압축강도가 증가되었다. MGF 치환량이 증가할수록, 물-바인더 비가 감소할수록 압축강도는 증가된다.

이와 같은 압축강도의 증가는 포졸란 반응에 기인하는 것으로 설명할 수 있다. Kim et al.(2014, 2015)은 폐유리를 사용

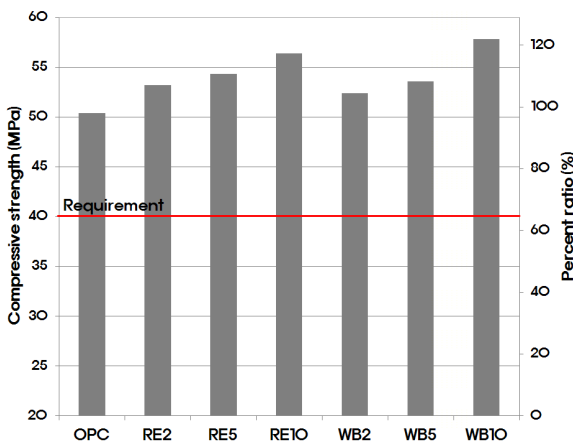


Fig. 4 Compressive strength result

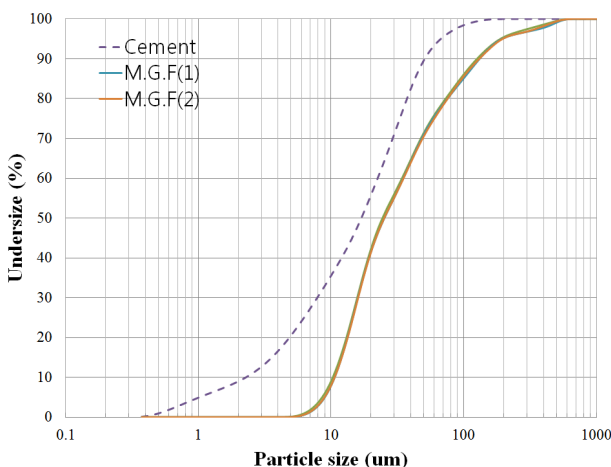


Fig. 5 Particle size distribution of milled glass fibers and cement

한 콘크리트 배합에 대한 실험을 수행하였으며, 강도와 내구성능이 증가한다고 보고하였으며, 이와 같은 강도와 내구성능의 개선의 원인을 포졸란 반응으로 설명하고 있다. 또한 Khmiri et al.(2013)은 20 μm ~100 μm 의 다양한 입자크기의 유리섬유가 혼입된 몰탈의 화학적 시험과 역학적 시험을 수행하였으며, 그 결과에 따르면, 20 μm 의 입자크기에서 가장 우수한 포졸란 반응이 나타났다. 본 연구에서는 포졸란 반응 여부를 조사하기 위하여 사용된 유리재료에 대한 입도를 분석하였다(Fig. 5 참조). 분석결과 초단유리섬유는 시멘트의 입자 보다 다소 크지만 전체적인 입도분포는 10 μm ~100 μm 이며, 가장 많은 입자의 크기는 27 μm 로 나타났다. 그러므로 본 연구에서 사용된 유리섬유가 포졸란 효과를 통해 몰탈의 강도가 증진되었다고 판단된다.

3.4 소요성능평가 결과

소요성능평가 결과 유하속도 및 압축강도 실험에서는 모든 배합이 평가기준에 만족하는 것으로 확인되었다. 블리딩 실험의 경우 RE5, RE10 두 배합은 평가기준에 만족하지 못하였다. 따라서 RE5와 RE10 두 배합은 PSC 그라우트로서의 블리딩 소요성능을 만족하기 위하여 물-바인더 비를 감소하고, 혼화제를 늘리는 등의 배합 수정이 필요한 것으로 판단된다.

4. 부식저항성능평가

이 장에서는 PSC 그라우트의 부식저항성능 평가를 하였다. 부식저항성능 평가를 위한 다양한 실험방법이 있지만 이 논문에서는 3가지 실험을 진행하였다. 첫 번째로 염소이온확산 시험으로 북유럽에서 공인된 NT Build 492 시험 규격에 따라 실험을 진행하였다. NT build 492는 염소이온의 침투깊이로 확산계수를 산정하여 평가하는 방법이다. 두 번째로 몰탈흡수시험으로 ASTM C 1403에 규정에 의해 실험하였다. ASTM C 1403은 몰탈의 공극량을 시간에 따른 물의 흡수량으로 평가한다. 세 번째로 표면 전기저항 시험으로 FM5-578의 시험규격에 따라 실험하였다. 표면 전기저항 값을 이용하여 내부 공극량에 대한 상대적인 비교가 가능하다. 본 평가에 고려된 배합은 2장 Table 1에 나타낸 배합 중 블리딩 소요성능 기준에 만족하지 못했던 RE5와 RE10의 배합을 제외한 5가지 배합에 대해 실험을 진행하였다. OPC와 WB계열을 비교하면 배합 시 MGF의 추가에 따른 물-바인더 비 영향을 분석할 수 있으며, OPC와 RE2, WB2를 비교하면 동일한 배합에 동일한 MGF를 시멘트 대신 치환한 경우와 MGF를 추가하여 물-바인더 비가 감소한 경우에 대한 영향을 상호 비교, 분석할 수 있다.

4.1 염소이온확산실험

4.1.1 염소이온확산실험방법

시험체는 직경 100 mm, 높이 200 mm의 원형몰드에 타설하고, 24시간 후 몰드에서 탈형하여 수중양생을 실시한다. 재령 7일과 28일에 다이아몬드 커터를 이용해 Fig. 6과 같이 원주형 공시체를 이등분 한 후 각 절단 시편의 내부에서 50 ± 2 mm의 시편을 절단, 채취한다. 준비된 시편은 표면의 먼지를 제거하고, 과잉수를 마른수건으로 닦아낸다. 공시체의 표면이 건조되면 공시체를 데시케이터에 넣은 후 3시간 진공처리를 한다. 이후 18 ± 2 시간동안 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용액에 담근 후 준비된 시편은 음극용액(10% NaCl 수용액)과 양극용액(0.3M의 NaOH 수용액)에 침지한다(Fig. 7 참고). 전기영동실험 장치는 온도와 전압을 측정할 수 있는 데이터로거에 연결한 후 30V의 전압을 가한다. 이때 초기전류를 측정하여 측정값에 따라 인가전압과 시험시간을 설정한다. 시험 종료 후 시험체는 절단하여 절단면에 염소이온침투깊이(X_d)를 측정하기에 용이하도록 0.1 M 농도의 질산은 시약을 분무한다. 염소이온의 침투깊이는 버어니어캘리퍼스를 이용하여 가장자리 10 mm를 제외하고 10 mm 간격으로 7개소를 0.1 mm까지 정밀하게 측정한다. 염소이온 확산계수는 측정된 염소이온침투깊이로부터 식 (2)에 의하여 산정된다.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \times \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)L \times X_d}{U-2}} \right) \quad (2)$$

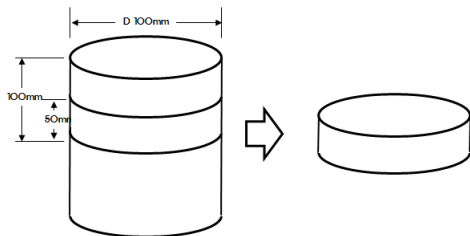


Fig. 6 Specimen preparation

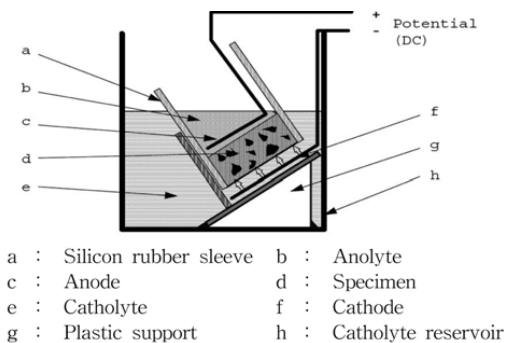
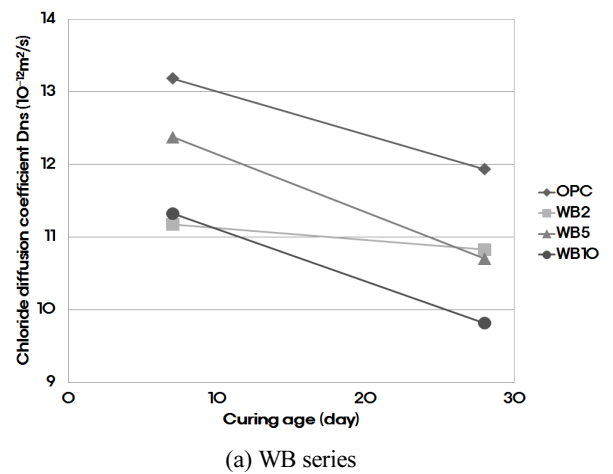


Fig. 7 Electrophoresis apparatus setup(NT Build 492)

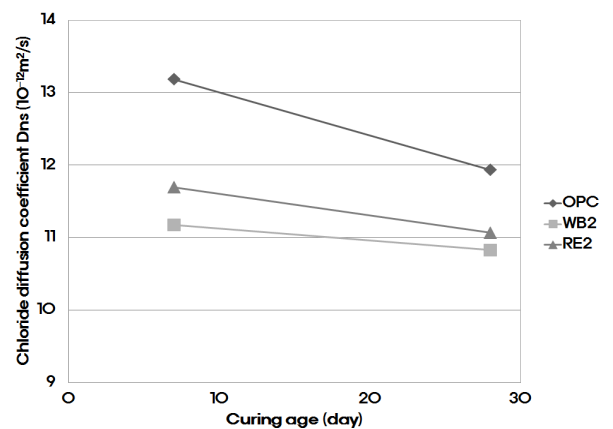
여기서, D_{nssm} 는 비정상상태의 확산계수($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$), U 는 적용 전압 절대치(V), L 은 시편의 두께(mm), T 는 시험시작시의 온도와 종료시의 온도의 평균($^{\circ}\text{C}$), t 는 시험시간(hr), X_d 는 침투깊이 평균치(mm)이다.

4.1.2 염소이온 확산실험결과

염소이온 확산실험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. MGF가 함유된 모든 배합에서 OPC 배합에 비하여 염화물확산계수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8(a)는 MB 시리즈의 결과를 보여준다. 재령 7일의 결과에서는 물-바인더비의 감소와 확산계수간에 일정한 관계를 확인할 수 없으나, 재령 28일의 결과에서는 WB2, WB5, WB10 배합 각각 염소이온 확산계수가 18%, 19%, 26% 감소하여 물-바인더 비 감소에 따른 일정한 영향을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)는 RE2와 WB2를 비교하고 있다. WB2, RE2 각각 재령 7일에서는 OPC 배합에 대하여 16%, 12% 감소되며 재령 28일에서는 18%, 17% 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 2%정도의 치환 또는 첨가로 인한 상대



(a) WB series



(b) Comparison of RE2 and WB2

Fig. 8 NT Build 492 test results

적인 차이가 미미하여 비교가 의미 없는 것으로 판단된다. 그러나 MGF를 사용함으로써 OPC만을 사용할 때 보다 PSC 그라우트의 부식저항성능을 개선시킬 수 있다는 것으로 확인하였다.

4.2 몰탈 흡수시험

4.2.1 몰탈 흡수시험 방법

Fig. 9는 ASTM C 1403에서 규정하고 있는 몰탈 흡수시험을 위한 시험방법을 나타내고 있다. 한 변의 길이가 50 mm인 정육면체 몰탈시험체를 금형몰드에 타설한 후 24시간이 경과하여 탈형하고, 양생수조에 수침한다. 양생수조의 온도는 24±8°C를 유지하며, 재령 7일 및 28일 후 수조에 꺼낸 후 건조로 100±10°C에 넣어 24시간 동안 건조한다. 건조된 시료는 건조로에서 꺼낸 뒤, 실내온도와 동일한 24±8°C가 될 때 까지 자연건조 시킨 후, 시편의 무게를 0.1 g까지 측정하여 초기 무게를 기록한다. 무게를 측정한 시료는 덮개가 있는 수조에 물을 충분히 채워둔다. 이때 수조에 시편을 물이 튀지 않게 조심히 Fig. 8과 같이 지지대 위에 놓는다. 처음 1~5분 동안 초기 흡수 단계로 물을 충분히 보충해주어야 한다. 이후 0.25시간±0.5

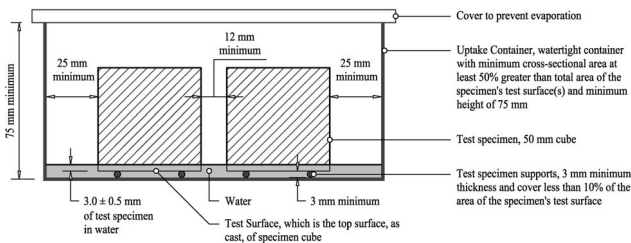
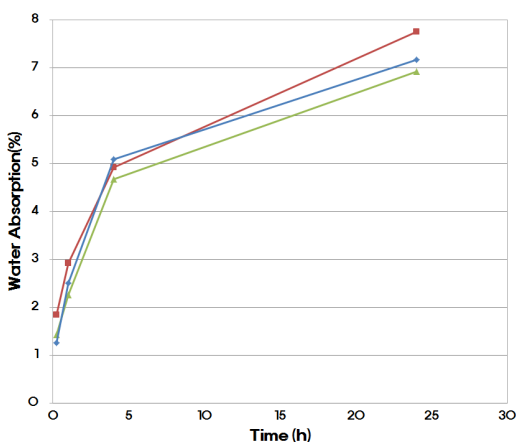
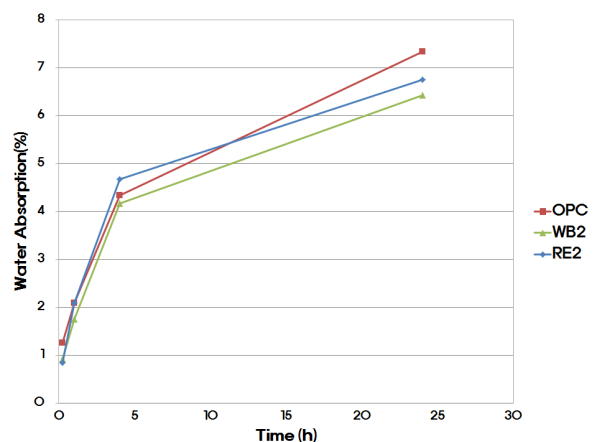


Fig. 9 Water absorption test



(a) age 7



(b) age 28

Fig. 10 Water absorption test results for comparison of WB2 and RE2

분, 1시간±2분, 4시간±10분, 24시간±15분, 0.1 g까지 시편의 질량을 측정하여 기록한다. 동일한 변수에 대해 3개씩을 실험하였으며, 흡수량은 다음 식 (3)과 같이 결정하였다.

$$A_t = (W_t - W_0) \times \frac{L_1 \times L_2}{10000} \quad (3)$$

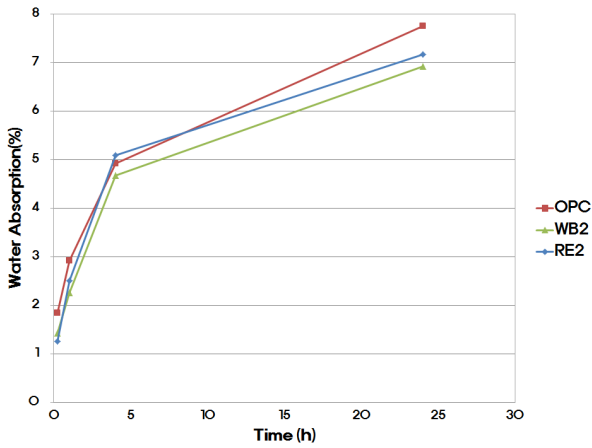
여기에서, A_t 는 시간 T에 따른 시편의 흡수율(%), W_t 는 시간 T에서의 시편 중량(g), W_0 는 시편의 초기중량(g), L_1 는 시편의 평균 길이(mm), L_2 는 시편의 평균 폭(mm)이다.

4.2.2 몰탈 흡수시험 결과

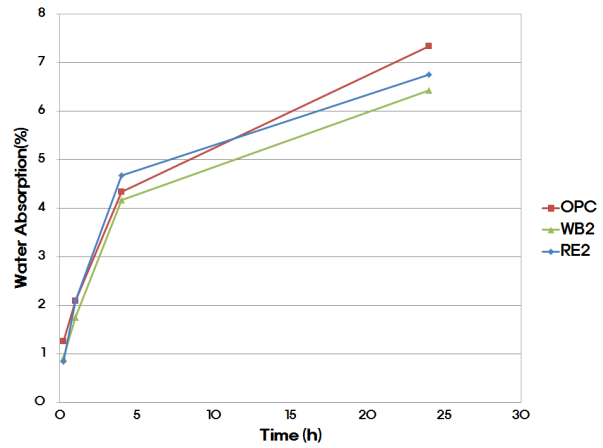
몰탈 흡수실험에 대한 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 모든 배합에서 OPC배합에 비하여 흡수량이 감소하는 것으로 확인할 수 있다. 이 결과로부터 MGF는 PSC 그라우트의 미세 공극량을 줄이거나 공극구조에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 MGF의 물-바인더 비에 대한 영향을 나타내고 있다. 물-바인더 비가 감소할수록 모든 재령에서 흡수량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 재령 7일 24시간의 결과에서는 WB2와 WB5의 흡수량이 매우 근사하여 물-바인더의 감소에 의한 영향이 명확하지 않으나, 재령 28일 24시간 결과에서는 WB2, WB5, WB10의 흡수량이 OPC배합의 흡수량에 대하여 1.3%, 0.8%, 1.7% 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 RE2와 WB2의 흡수시험결과를 비교하여 나타내고 있다. 재령 7일 0.25시간을 제외한 모든 경우에서 WB2 보다 RE2가 높은 흡수량을 나타냈다. 재령 28일 24시간 결과에서는 OPC 배합의 흡수량에 대하여 WB2, RE2의 흡수량은 각



(a) age 7



(b) age 28

Fig. 11 Water absorption test results for comparison of WB2 and RE2

각 1.3%, 0.9% 감소한 결과를 나타내었다. 모든 결과에서 WB2의 흡수량이 RE2의 흡수량 보다 적은 것으로 나타났으나 그 차이는 미소하다.

4.3 표면전기저항실험

4.3.1 표면전기저항실험방법

표면 전기저항 시험은 직경 100 mm, 높이 200 mm 공시체를 각 배합에 대하여 3개씩 제작하였다. 몰탈 타설 후 24시간이 경과하여 탈형하고, 7일과 28일 동안 기건 양생하였다. 표면전기저항의 측정은 Fig. 12와 같이 시편의 옆면에서 길이방향으로 측정하는데, 시험체 양단 면에 0°, 90°, 180°, 270°를 표시하여 구분한 뒤 길이방향으로 시험기를 접촉하여 측정한다. 측정 전 분무기를 사용해 물을 15회 분사 한 후 측정하며, 각 시험체당 2번씩 측정하고 이를 평균하였다.



Fig. 12 Surface Electrical Resistance Measure

4.3.2 표면전기저항실험결과

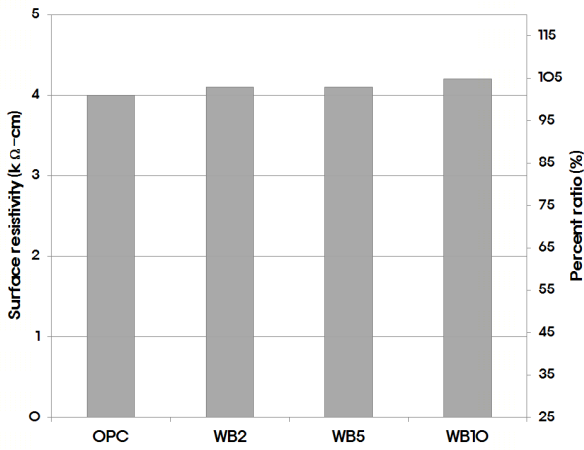
표면전기저항 실험에 대한 결과를 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. 모든 MGF 배합에서 OPC배합에 비하여 표면전기저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과로 부터 MGF는 PSC 그라우트의 미세 공극량을 줄이거나 공극구조에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 13은 MGF의 물-바인더 비에 대한 영향을 나타내고 있다. 물-바인더 비가 감소할수록 모든 재령에서 표면전기저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 재령 7일에서는 물-바인더 비의 감소에 의한 영향이 명확하지 않으나, 재령 28일 결과에서는 WB2, WB5, WB10의 표면 전기저항이 OPC배합의 표면 전기저항에 대하여 2.4%, 3.5%, 4.5% 감소하는 것으로 나타났다.

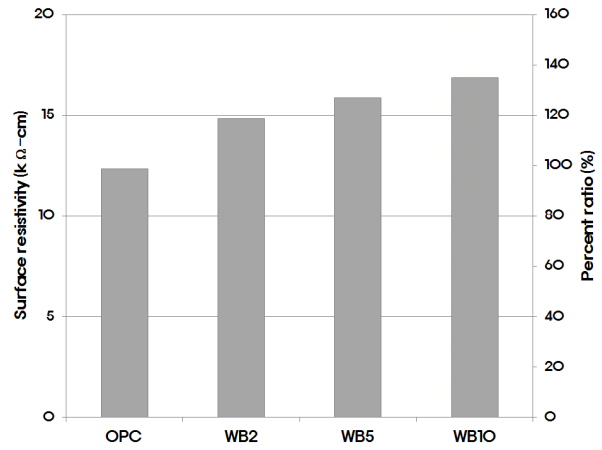
Fig. 14는 RE2와 WB2의 표면전기저항실험 결과를 비교하여 나타내고 있다. 재령 7일 결과에서는 표면전기저항이 매우 근사하고, 재령 28일 결과에서는 OPC 배합의 표면전기저항에 대하여 WB2, RE2의 표면전기저항은 각각 2.5%, 3.0% 감소한 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과에서 WB2의 표면전기저항이 RE2의 표면전기저항 보다 낮은 것으로 나타났으나 그 차이는 미소하다.

5. 결론

MGF가 PSC그라우트 부식저항성능에 미치는 영향을 알아 보기 우선 3가지 소요성능평가시험을 실시하였다. 소요성능평가시험에 적합한 배합에 한하여 3가지 부식저항성능평가를 실시하였다. 실험결과를 통해 획득한 결론은 다음과 같다.

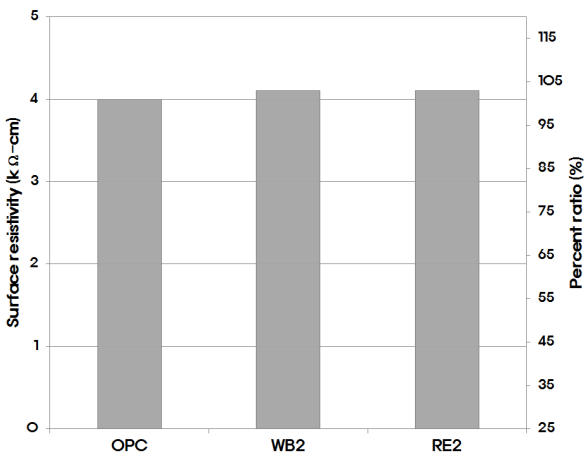


(a) age 7

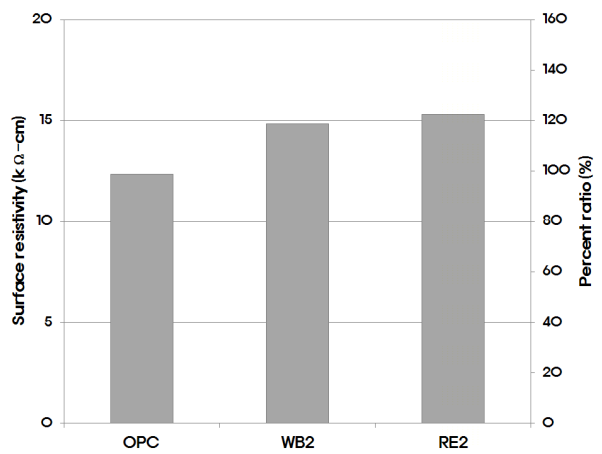


(b) age 28

Fig. 13 Surface resistivity results for WB series



(a) age 7



(b) age 28

Fig. 14 Surface resistivity results for comparison of WB2 and RE2

소요성능평가 시험,

- 1) 유동성 평가에서는 물-바인더 비가 감소하면 유동성은 감소하며, 시멘트의 MGF 치환비율이 증가할수록 유동성은 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 블리딩 시험결과, 시멘트를 5%, 10% MGF로 대체한 배합만 블리딩 소요성능기준을 만족하지 못하였으며, 이외의 모든 배합은 소요기준을 만족하였다. 이는 시멘트가 MGF로 대체되면서 시멘트량이 줄게 되면서 수화 반응에 필요한 물의 양도 동시에 줄지만 배합에 사용된 물은 동일하기 때문에 발생하는 것으로 추정할 수 있다.
- 3) 압축강도 시험결과, 물-바인더비가 감소할수록, 그리고 MGF의 치환비율이 증가할수록 압축강도가 증진되는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 MGF가 포졸란 반응을 일으켜 내부조직이 치밀해졌기 때문으로 판단되며, 이와 같은 판단의 근거로서 입도분석 결과를 제시하였다.

부식저항성능 시험,

- 1) 염소이온 확산시험 결과, 물-바인더 비가 감소할수록 염화물확산계수가 감소하는 경향을 나타내었다. MGF 2% 정도의 치환 또는 첨가 두 경우 모두 OPC 배합과 비교할 때 염화물확산계수가 감소한다.
- 2) 몰탈 흡수시험결과, 모든 재령에서 물-바인더 비가 감소할수록 흡수량이 감소하는 것으로 나타났다. MGF 2% 정도의 치환 또는 첨가 두 경우 모두 OPC 배합과 비교할 때 몰탈의 흡수량은 감소한다.
- 3) 표면전기저항 시험결과, 물-바인더비가 감소할수록 표면전기 저항치는 증가하였다. MGF 2% 정도의 치환 또는 첨가 두 배합 모두 OPC 배합과 비교할 때, 표면전기저항이 증가한다.

이상의 결과를 종합할 때, 초단유리섬유가 혼입된 PSC 그

라우트는 OPC만이 바인더로 사용된 그라우트 배합에 비하여 우수한 부식저항성을 가지고 있음이 확인되었다. 다만, 초단유리섬유를 시멘트를 대치(RE series)하여 사용하였을 때 유하시간은 감소하지만 블리딩이 증가하는 것으로 확인하였다. 이는 본 연구에서 고려한 배합 RE 배합에서 물-바인더 비를 동일하게 하였기 때문에 발생한 결과이며, 이를 보완하기 위해서는 물-바인더 비를 감소시키고 혼화제를 늘리는 등의 배합의 수정이 필요하고, 포졸란 반응 여부와 미세구조촬영 등 추가적인 실험검증이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 20133030020820).

References

1. ASTM C 1403 (2013), Standard Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars”American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
2. FM 5-578 (2004), Florida Method of Test for Concrete Resistivity as an Electrical Indicator of its Permeability. Florida Department of Transportation (FDOT).
3. Korean Standards Association (2014), KS F 2433: Standard test method for bleeding and expansion ratios of grouting mortar.
4. Kang, H. J., Koh, K. T., Ryu, G. S., Lee, J. H., Park, J. J. (2008) The

- Strength Characteristics of Cement ZERO Mortar Mixing Waste Glass Powder and Fly Ash as Binder, Proceedings of the Korea Concrete Institute conference-Fall, KCI, 20(2), 649-652.
5. Kang, H. J., Koh, K. T., Ryu, G. S., Lee, J. H., Park, J. J. (2008) The Strength Characteristics of Cement ZERO Mortar Mixing Waste Glass Powder and Fly Ash as Binder, Proceedings of the Korea Concrete Institute conference-Fall, KCI, 20(2), 649-652.
6. Kim, J., Moon, J., Shim, J. W., Sim, J., Lee, H., Zi, G. (2014) Durability Properties of a Concrete with Waste Glass Sludge Exposed to Freeze-and-Thaw Condition and de-icing salt, Construction and Building Materials, 66, 398-402.
7. Kim, J., Yi, J., Zi, G. (2015) Waste Glass Sludge as a partial cement replacement in Mortar, Construction and Building Materials, 75, 242-246.
8. Korean Standards Association (2004), KS F 4044 : Hydraulic cement grout (Nonshrink).
9. Lee H.G., Oh H.S., Sim J.S., and Zi G.S. (2013), An Experimental Study on the Multi-Deterioration Resistances of Concrete containing Waste-glass Sludge, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, 13(2), 67~74.
10. Nah D. B., Shin H. S., and Nah D.J. (2011), Offshore Wind Power Review, *Journal of Energy Engineering*, KOSEE, 20(2), 143-153.
11. NORDTEST METHOD NT BUILD 492, Approved 1999-11
12. Park, S. B., Lee, B.C., and Kwon, H.S. (2002), Alkali-Silica Reaction of Mortar Containing Waste Glass Aggregates, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, 19(2), 25-33.
13. Sung J. K., Lee T. J. (2013), Study on Present Status and Future Direction of Korean Offshore Wind Power, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, KIEE, 62(3), 312-321

Received : 04/22/2015

Revised : 05/14/2015

Accepted : 08/17/2015

요 지 : 본 실험 논문은 초단유리섬유(milled glass fibers)가 혼입된 PSC용 그라우트 몰탈의 강제부식성을 평가하였다. 초단유리섬유를 함유한 배합이 PSC 그라우트 몰탈로서 소요성을 만족시키는지 확인하기 위하여 유하시간, 블리딩 및 압축강도를 측정하였다. 초단유리섬유를 함유한 몰탈의 부식저항 성능은 염소이온 확산시험, 몰탈 흡수시험과 표면전기저항 측정 결과에 근거하여 수행되었다. 시험결과, 초단유리가 혼입된 모든 배합은 OPC만 사용된 배합에 비하여 그라우트의 부식저항성을 개선시키는 것으로 확인되었다. 다만, 초단유리섬유를 사용함으로써 유하시간은 단축되지만 블리딩이 발생하여 소요성을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 그러므로 PSC 그라우트에 적합한 초단유리섬유배합이 되기 위해서는 물-바인더비의 조정이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : PSC 그라우트, 투과성능, 초단유리섬유, 염소이온확산
