

해양폐기물을 이용한 수밀콘크리트 개발에 관한 연구 An Experimental Study on the Low Permeability Concrete with the Marine Wastes

백신원 · 김인배*

한경대학교 안전공학과 · *한경대학교 환경공학과

Paik, Shin Won · Kim, In Bae

Department of Safety Engineering, Hankyong National University

*Department of Environmental Engineering, Hankyong National University

Abstract : Many marine wastes such as seaweeds are casted aside at the seashores. So, the objective of this study is to apply the marine wastes to the concrete. To this end, mortar and concrete tests with the marine wastes have been conducted. The results of the present mortar and concrete tests indicate that the mortar and concrete with marine wastes admixtures exhibits very low permeability. The present study provides a firm base for the use of very low permeable concrete and the application of the marine structures and the submerged structures.

Key words : Marine wastes, Low permeable concrete, Chloride ion penetration, Marine wastes admixture

1. 서 론

물, 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 각종 혼화제 등을 혼합하여 만들어지는 콘크리트는 현재 값싼 건설재료로 널리 사용되고 있으나, 콘크리트 자체가 물의 침투를 완전히 방지해 주는 방수재료가 아니기 때문에 물이나 바닷물에 노출된 콘크리트 구조물은 물이나 해수가 콘크리트 속에 침투하여 구조물 속에 배근된 철근을 부식시켜 구조물의 성능을 저하시키게 된다.

수중이나 해양에 건설되는 구조물은 매우 수밀한 콘크리트가 요구되는데, 국내에서는 낮은 물-시멘트비를 사용하고, 약간의 혼화제를 첨가하여 시공하는 경우가 일반적이기 때문에 국내에서 시공된 수중구조물이나 해양구조물 등은 그 수명이 매우 짧아 유지보수나 재시공하기 위해 많은 비용이 쓰이고 있다.

따라서 물에 노출된 구조물이나 바닷물에 노출된 구조물의 수명을 연장하여 전체적으로 구조물의 성능을 향상시키기 위해서는 수밀콘크리트의 개발이 무엇보다 절실하다 하겠다.

토목·건축 구조물에서 물이나 바닷물에 노출된 구조물이 차지하는 비중은 그리 크지 않으나 이러한 수중이나 해양구조물은 물이나 바닷물의 침투로 물이나 바닷물 속에 잠겨 있는 콘크리트의 성능이 저하되어 전체 구조물에 매우 큰 영향을 미치므로 토목·건축 구조물에서 수중구조물이나 해양구조물은 중요 구조물로 분류하여 재료의 선

택, 시공방법 등에 있어 세심한 주의를 기울여 건설되고 있다.

따라서 본 연구에서는 해변가에서 쉽게 채취 가능한 해양폐기물을 1차 가공하여 콘크리트에 첨가, 투수성이 매우 낮은 수밀콘크리트를 개발하여 중요 구조물로 분류되는 수중구조물이나 해양구조물에 적용할 수 있는 방안을 찾아보는데 그 목적이 있기 때문에 1차적으로 해양폐기물을 이용하여 여러 문헌이나 실험을 통해 콘크리트에 첨가되는 여러 가지의 첨가제를 개발하고, 2차적으로 이를 콘크리트에 적용하여 콘크리트의 제반 역학적 성능이 우수하고, 투수성이 매우 낮은 수밀콘크리트를 개발하는 것이 주내용이 된다.

2. 실험변수 및 배합

본 연구에서는 모르타르 및 콘크리트로 나누어 실험을 수행하였는데, 모르타르 실험에서는 해양폐기물에 소량의 경화보조제를 첨가한 해양폐기물 첨가제(Marine wastes admixture)를 시멘트 중량의 1%만큼 모르타르에 첨가하여 28일 압축강도 및 투수실험을 실시하였고, 콘크리트 실험에서는 해양폐기물 첨가제를 시멘트 중량의 1%, 2%, 3%만큼 콘크리트에 첨가하여 28일 압축강도 및 투수실험을 실시하였다.

또한 모르타르 실험에서는 동일한 워커빌리티를 유지하기 위해 혼화제를 사용하지 않고 해양폐기물 첨가제가 첨가되지 않은 경우에는 물-시멘트비를 0.7로 나머지 첨가된 경우에는 물-시멘트비를 0.8로 하여 배합을 하였으며, 콘크리트 실험에서는 모든 배합을 단위시멘트량 400 kgf/m^3 , 물-시멘트비 0.5, 잔골재율(s/a) 0.45로 동일하게 하고 해양폐기물을 첨가한 콘크리트는 해양폐기물 첨가제량이 증가함에 따라 슬럼프(Slump)가 감소하므로 본 연구에서는 고유동화제(Superplasticizer)를 이용하여 슬럼프가 약 20cm 정도가 되도록 배합을 하였다.

3. 실험방법

3.1 압축강도

모든 배합에 대하여 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 원주형 공시체를 제작 1일 후 탈형하고 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수중에서 28일동안 표준양생을 한 후 압축강도를 KS F 2405에 의거하여 측정하였다.

3.2 염소이온 투과시험

콘크리트의 투수성은 내부식성, 내황산염 저항성 등 다른 내구성에 큰 영향을 미친다. 투수성은 콘크리트의 내부조직과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 투수성이 높은 콘크리트는 상대적으로 성능저하를 촉진하는 경향을 보인다.

일반적으로 콘크리트의 투수시험은 높은 압력으로 물을 강제 투수시켜 Darcy의 법칙

에 의하여 투수계수를 결정하는 방법이 있으나 조직이 치밀한 콘크리트의 경우 투수되는 수량이 극히 적으며 실험에 장시간이 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 수압에 의한 촉진 실험보다 효율적인 염소이온의 투과를 전압차에 의하여 촉진하는 시험법을 채택하였다.

염소이온 투과시험은 ASTM C1202-91 Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration⁶⁾와 AASHTO T259의 방법에 의거하여 수행하였다. 28일 수중 양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 길이가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95%이상 유지시킨다. 실험시 시편은 Applied Voltage Cell 에 고정시키고 회로 구성을 한다. Figure 1은 염소이온 투과시험의 직류회로를 설명하고 있고, Figure 2는 A.V Cell의 상세도이다. 이 회로에서 전원은 $60 \pm 0.1V$ 의 직류를 안정적으로 공급할 수 있어야 한다. 실험을 수행하는 동안 전해질 용액이 세지 않게 하기 위하여 사용되는 Sealant는 고무제품이고 무게는 20~40g 정도의 것으로 Cell 과 시편사이를 고정시킨다.

전류를 측정하는 방법으로는 기지의 저항체를 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있는데 이 때에 사용되는 저항으로는 콘크리트 시편에 적용되는 전압에 영향이 적도록 하기 위하여 가능한 작은 저항을 사용하는 데 본 실험에서는 0.1Ω 을 사용하였다. 콘크리트 시편의 노출된 부분은 불투수성의 재료로 덮개를 하는데 이는 실험이 진행되는 동안 콘크리트 표면이 건조되어 염소이온의 투과에 영향을 미치는 것을 방지하기 위함이다.

A.V. Cell의 (-) 전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+) 전극 쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운다. 3% NaCl 용액은 물 900ml 에 NaCl 30g을 용해시킨 후 물을 가하여 1000ml의 용액을 만들고 0.3N NaOH는 물 1L에 NaOH 12g을 용해시켜 제조한다. 실험시 용액의 초기 온도는 20~25℃를 유지하도록 한다. 또한 시험 중 용액의 온도는 90℃이하가 되도록 한다.

시험중 30분 마다 0.1Ω 의 저항에 걸리는 전압을 Data Logger로 측정하여 기록한다. 이 때 전압은 0.1mV까지 측정 가능해야 하고 $\pm 0.1\%$ 의 정도를 가진 장치이어야 한다. 측정된 전압값은 다음 (1)식에 의하여 전류치로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.1} \tag{1}$$

- 여기서, I = 전류(Amperes, A)
- V = 전압(Volts, V)
- R = 저항(Ohms, Ω)

염소이온 투과실험은 매 시편마다 6시간이 소요되고 30분간격으로 전압값을 측정한다. 측정된 전압을 전류를 환산하여 다음 (2)식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량

을 산정한다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서, Q = 회로를 통과한 전하량(Coulombs)

I_n = 실험시작후 n분이 경과하였을 때의 전류(Amperes)

4. 실험결과

모르타르 실험에서는 해양폐기물을 첨가하지 않은 경우와 네 종류의 해양폐기물을 1% 첨가한 경우에 대해 28일 압축강도와 염소이온 투과량을 측정하였는데, Figure 1은 28일 압축강도를 Figure 2는 염소이온 투과량을 나타내는 그림으로서, Figure 1에서 보는 바와 같이 해양폐기물을 첨가한 경우는 강도가 상당히 감소하는 경향을 보였는데 이는 해양폐기물이 흡습성이 커 동일한 워커빌리티를 유지하기 위해 더 많은 물을 사용했기 때문으로 사료되며, 이러한 강도저감은 고성능감수제(Superplasticizer)와 같은 혼화제를 사용하면 보완할 수 있을 것으로 사료되어 콘크리트 실험에서는 혼화제를 사용하여 일정한 워커빌리티를 유지할 수 있도록 실험을 진행하였다.

또한 Figure 2에서 보는 바와 같이 해양폐기물을 첨가한 경우에는 첨가하지 않은 경우에 비해 염소이온 투과량이 현저히 감소하는 경향을 보여 수밀콘크리트에 상당한 효과가 있는 것을 알 수 있었으며, 특히 네 종류 중 D(Marine wastes + Gypsum)가 가장 낮은 투수를 보이는 수밀콘크리트 개발에 적합한 것을 알 수 있었다.

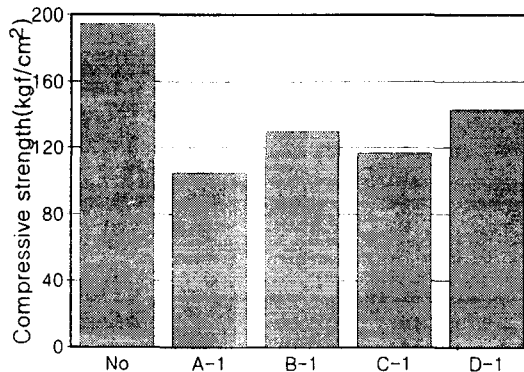


Figure 1 Compressive strength(mortar)

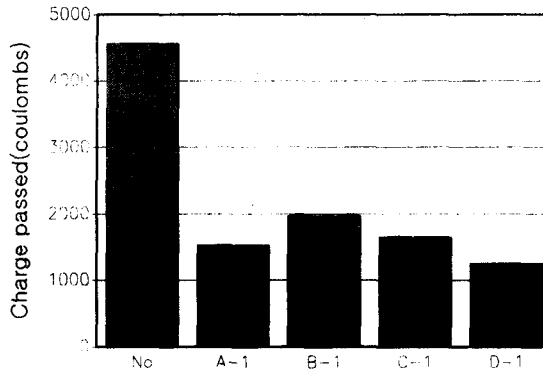


Figure 2 Charge passed(mortar)

5. 결 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 해변가에는 파도에 의해 자연적으로 밀려들어 쌓이는 해조류 등과 해산물을 채취하고 남는 폐기해산물 등이 여러 곳에 버려져 썩고 있어 커다란 환경오염의 원인이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 해안가의 심각한 환경오염의 원인이 되고 있는 해양폐기물을 건조하고 미분말로 분쇄하여 콘크리트에 적용 수밀콘크리트를 개발하기 위해 모르타르 실험과 콘크리트 실험으로 나누어 광범위한 실험을 수행하였다.

모르타르 실험에서는 해양폐기물을 첨가하지 않은 경우와 네 종류의 해양폐기물을 1% 첨가한 경우에 대해 28일 압축강도와 염소이온 투과량을 측정하여, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- ① 해양폐기물을 첨가한 콘크리트는 첨가하지 않은 콘크리트보다 압축강도가 낮은 결과를 보여 해양폐기물 첨가제를 콘크리트에 적용할 경우에는 혼화제와 같은 강도보완제를 사용해야 함을 알 수 있었다.
- ② 해양폐기물을 첨가한 콘크리트의 염소이온 투과량은 첨가하지 않은 콘크리트보다 매우 낮은 결과를 보여 해양폐기물의 첨가가 콘크리트의 수밀성을 크게 개선하기 때문에 해양폐기물이 수밀콘크리트를 만드는데 매우 적합함을 알 수 있었다.
- ③ 특히 해양폐기물에 몇 가지의 경화보조제를 첨가한 첨가제중 해양폐기물(Marine wastes)에 석고(Gypsum)를 약 5% 첨가한 해양폐기물 첨가제가 가장 수밀모르타르에 적합함을 알 수 있었다.

콘크리트 실험에서는 해양폐기물을 첨가하지 않은 경우와 네 종류의 해양폐기물을 1%, 2%, 3% 첨가한 경우에 대해 28일 압축강도와 염소이온 투과량을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- ① 해양폐기물만을 사용한 경우, 해양폐기물과 소다회(Soda lime)를 첨가한 것, 해양폐기물과 유산반토(Aluminium sulfate)를 첨가한 것 등은 고유동화제와 같은 혼화제를 사용하더라도 압축강도가 해양폐기물을 첨가하지 않은 경우보다 낮은 결과를 보였으나

해양폐기물과 석고를 첨가한 것은 약간 큰 결과를 보였다.

② 해양폐기물의 첨가량이 증가할수록 압축강도는 점점 감소하는 경향을 보여 강도측면에서는 그 첨가량이 한계가 있음을 알 수 있었다.

③ 모르타르 실험에서와 마찬가지로 네 종류의 해양폐기물을 첨가한 콘크리트의 염소이온 투과량은 첨가하지 않은 콘크리트보다 상당히 낮은 결과를 보였다.

④ 해양폐기물의 첨가량이 증가할수록 염소이온 투과량이 크게 낮아지지는 않았다.

⑤ 모르타르 실험에서와 마찬가지로 네 종류의 해양폐기물 첨가제중 해양폐기물에 석고를 첨가한 것이 수밀콘크리트에 가장 적합함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김인배외, '폐기물 공정시험방법 및 해설,' 동화기술, 1995
2. 김인배외, '최신폐기물,' 신광문화사, 2001
3. 박승범, 김도겸, "콘크리트 중의 염소이온 확산 특성에 관한 실험적 연구," 콘크리트 학회논문집, 제12권 1호, 2000. 2
4. US EPA, 'Lining of waste impoundment and disposal facilities,' 1983
5. Michael D.L., Phillip L.B., Jeffrey C.E., 'Hazardous waste management,' McGraw-Hill, Inc., 1994
6. Annual Book of ASTM Standard, C1202, "Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," 1990
7. C. Andrade, M. Castellote, C. Alonso, C. Gonzalez, "Relation between colourimetric chloride penetration depth and charge passed in migration tests of the type of standard ASTM C1202-91," Cement and Concrete Research, 1999