댐 시설물 수중구조체 보수용 패칭재료의 적용 가능성 평가 Evaluation of Underwater Dam Concrete Structure Repair by Patching Material

김완영^{*,†}
Kim, Wan Young^{*,†}

ABSTRACT

This study was performed to evaluate applicability of patching materials for underwater dam concrete structure. Two kinds of patching materials was investigated. Laboratory experimentals were conducted by workability, compressive strength, bond strength, chloride ion penetration, abrasion resistance. Test results showed that the most performances are relatively good except chloride ion penetration.

Keywords: Underwater dam concrete; repair material; patching

I. 서 론

콘크리트구조물은 건조수축이나 온도, 화학작용 등 다양한 원인에 의해 균열이 생긴다. 보통 콘크리트구조물 내부의 철근은 균열이 발생해도 알칼리성의 콘크리트가 감싸고 있기 때문에 부식에 대하여 안정하다. 하지만 균열이 진행되어 박리, 박락되기 시작하면 산성 물질의 접촉 등에 의해 콘크리트의 알칼리 성분이 감소하고 철근의 부식을 일으킬 수 있다. 특히 수중콘크리트 구조물의 경우 사용 환경의 특성상 수분 및 습기의 영향에 의해 구조체 표면이 침식되거나 수류 등으로 인한 단면손상으로 균열이 발생하기 쉽다. 따라서 이러한 콘크리트 열화의 진행을 막기 위해서는 작은 손상이라도 빠르게 복구하는 것이 바람직하다 (Son et al., 2002, KCI, 2007).

그러나 수중부에 위치한 구조물의 손상부위에 대한 보수·보강이 쉽지 않으며 보수·보강을 수행하는 경우에도 수중에서 공사를 하게 되므로 콘크리트구조물 모체와 보수재료사이의 부

착불량, 강도저하 등의 요인으로 공사의 품질관리가 매우 어려운 문제점이 발생하게 된다 (Park et al. 2003).

본 연구에서는 수중콘크리트 구조물의 보수재료로 자주 사용되고 있는 패칭재료의 성능을 평가하려한다. 이를 위하여 시중에 판매되는 두 종류의 수중 구조물 보수용 패칭재료의 작업성 및 성능평가를 통해 수중 콘크리트구조물 보수재료로서의 적용 가능성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 수중패칭재료

본 연구에서는 국내에서 판매되고 있는 두 종류의 수중보수용 패칭재료를 사용하였다. A1의 경우 물과 혼합 후 초기경화는 3분, 최종경화는 5분 이내에 이루어지는 시멘트 베이스의 수중용 패칭재료이다. 그리고 A2의 경우 가사시간 20분 내외로 강한 점성을 부여하여 수중 시공이 가능한 보수 재료이다.

2. 시험체 제작

가. 수중패칭재료 배합

두 종류의 패칭재료는 빠른 경화 속도와 강한 점성을 갖도록

* 한국수자원공사 K-Water 연구원 댐안전연구소 책임연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-42-870-7621

Fax: +82-42-870-7619

E-mail address: wykim@kwater.or.kr

2009년 10월 26일 투고

2009년 11월 17일 심사완료

2009년 11월 23일 게재확정

Table 1 Mix proportion

Patching Materials	W/M
A1	0.21
A2	0.35

*W/M : Water/patching materials

만들어진 수중단면 복구용 모르타르 제품으로서 배합은 패칭재료와 물의 혼합으로 이루어진다. 두 패칭재료의 배합비는 제조사에서 제안한 배합비를 사용하였으며 이는 Table 1과 같다.

나. 시험체 제작 및 양생

시험체의 제작은 대한토목학회 “콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질규준(안)”의 『수중제작 공시체』를 따라 수중 제작하였다. 시험에 따라 50×50×50 mm, Ø100×200 mm, Ø150×50 mm의 시험체를 제작하고 7일과 28일 수중양생을 하였다 (ASCE, 1995, 1996, KCI 2003).

3. 시험방법

가. 시간에 따른 작업성 평가

수중 보수용 패칭재료는 강한 점성과 빠른 경화 속도를 갖는 특징을 가지고 있기 때문에 시간 경과에 따른 작업성에 상당한 영향을 미친다. 콘크리트 표준시방서의 『수중콘크리트』에 따르면 일반적으로 강제식 믹서의 경우 비비기 시간은 90~180초를 표준으로 하나 실험을 통해 소요의 품질을 확인하여 정해야한다. 따라서 패칭재료의 특성을 고려해 제작시간은 1분 내외로 기준을 정하였으며 실험을 통해 시간 경과에 따른 작업성을 평가하고 시공방법을 도출하였다.

나. 압축강도시험

압축강도시험은 KS L 5105 『수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법』에 의하여 재령 7일, 28일에 측정하였으며 시험체는 50×50×50 mm의 크기로 수중 제작하였다.

다. 부착강도시험

부착강도시험은 ASTM C 882-87 『Test Method for Bond Strength of Epoxy Resin Systems Used with Concrete-Modified』에 기초하여 경사전단시험을 실시하였다. Fig. 2는 부착강도시험의 모습이며 시험에 사용된 시험편은 압축강도와 동일한 방식으로 제작하였다.

경사전단시험은 일반콘크리트의 압축강도시험과 똑같은 조건으로 실시하고 모아-쿨롱 (mohr-coulomb)의 이론을 이용하여 접착력의 크기를 계산하였다. 압축을 가해 얻어진 값에 대한 힘의 구성과 모아 원은 Fig. 1에 나타냈다 (Jung, 2001).

Fig. 1 Configuration of Mohr's stress of circle and slant shear strength

(a) A1

(b) A2

Fig. 2 Bond strength test

모아-쿨롱의 이론에 의하여 접착면을 따라 작용하는 전단력 τ_n 과 수직응력 σ_n 은 Fig. 1에 의해서 도해적으로 아래와 같은 식처럼 구해진다 (Jung, 2001).

$$\tau_n = 0.5\sigma_0 \sin(2\alpha) \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sigma_0 \sin^2 \alpha \quad (2)$$

여기서, τ_n : 접착면에서 작용되는 전단강도

σ_n : 접착면에서 작용되는 수직응력

α : 수직선과 경사면이 이루는 각

라. 염소이온투과시험

염소이온투과 시험은 ASTM C 1202 『Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration』 방법에 따라 수행하였다. 시험 방법은 Ø100×200 mm의 시험체를 두께 50 mm로 절단하여 양극 셀에는 0.3N NaOH 수용액을, 음극셀에는 3 %의 NaCl 수용액을 채우고 DC 60V의 전위차로 6시간 동안 통전시키면서

전류값을 측정하였다.

마. 마모저항성시험

마모저항성 시험은 KS F 2429 『콘크리트의 마모저항 시험 방법』에 기초하여 수행하였다. 시험 방법은 재령 28일의 $\phi 150 \times 50$ mm 수중제작 시험체를 2분간 마모시킨 후 감소된 질량을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시간에 따른 작업성 평가

Fig. 3는 두 패칭재료의 배합상태 및 시편제작 모습을 나타낸다. 그림과 같이 배합과정에서 이미 굳기 시작하였으며 A1의 경우가 A2보다 더 심하게 굳은 상태를 나타내었다. 배합된 패칭재료를 수중보관할 경우 어느 정도 작업성을 얻을 수 있으나 기중 상태에서 시험체 제작을 하게 될 경우 2분 이내에 패칭재료가 완전히 굳는다. 따라서 배합시 한 번에 사용할 수 있는 양만 계량하며 패칭재료를 수중에서 보관하여 작업 도중 경화되는 것을 방지하여야 한다. 또한 작업시 다짐이 없기 때문에 패칭재료를 꼼꼼하게 눌러서 균열 부분을 메워 줘야 한다.

Fig. 3 Mixing state and appearance of specimen production of patching materials

Table 2 Test result of compressive strength (MPa)

Specimen	7 days				28 days			
	1	2	3	평균	1	2	3	평균
A1	10.00	9.20	-	9.6	26.58	22.05	17.17	21.93
A2	37.30	34.79	37.58	36.56	41.74	41.22	42.15	41.70

2. 압축강도시험

두 패칭제의 강도 특성을 알아보기 위하여 재령 7일, 재령 28일에 대한 압축강도 시험을 실시하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 재료에 상관없이 두 패칭재료 모두 재령 28일 압축강도가 20 MPa 이상의 값을 나타내었다. 그러나 배합 A1의 경우 재령 7일, 재령 28일의 압축강도가 9.6 MPa, 21.93 MPa인 것에 반해 A2의 경우 36.56 MPa, 41.70 MPa로 상대적으로 큰 값을 나타내었다. 이는 A2의 경우 A1에 비해 W/M비가 높아 상대적으로 좋은 유동성을 가지게 되고 이로 인해 시험체가 밀실한 구조를 가지고 있기 때문이라고 판단된다.

3. 부착강도시험

수중보수재료가 기존의 콘크리트와 충분한 점착성을 갖는지 알아보기 위해 부착강도 시험을 실시하였다. 모체의 압축강도는 수중구조물에서 가장 많이 사용되는 40 MPa로 하였으며 Fig. 4는 부착강도 시험 후의 시편모습을 나타내었다.

실험결과 Table 3에 나타내었다. 압축강도와 마찬가지로 A1의 경우 A2에 비해 상대적으로 부착강도 값이 작았으나 두 재료 모두 KS F 4042 『콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르』에서 규정하고 있는 부착강도 1.0 MPa의 기준을 만족시켰다. 상대적으로 밀실한 A2가 모체와의 일체화 거동을 하므로 경사면에서 파괴가 발생한 A1과 달리 모체에서 파괴가

Fig. 4 Specimen after bond strength test

Table 3 Test result of bond strength (MPa)

Specimen	B1	B2	평균
A1	5.82	5.57	5.70
A2	6.28	13.8	10.0

Table 4 Bond strength, normal stress and shear stress (MPa)

Test	f_c	σ_n	τ_n
A1	5.70	1.42	2.47
A2	10.0	2.51	4.34

Table 5 Test result of chloride ion penetration

Specimen		Charge passed (Coulombs)
A1	1	overflow
	2	8412
A2	1	overflow
	2	overflow

Fig. 5 Mass reduction of patching materials after abrasion resistance test

Table 6 Test result of abrasion resistance

Specimen	First Mass (g)	Mass ^{1*} (g)	Mass ^{2*} (g)	Mass ^{3*} (g)	Total mass reduction (g)	Average reduction (%)
A1	2611.9	2606.2	2598.2	2587.4	24.5	24.85
	2602.3	2592.9	2584.4	2577.1	25.2	
A2	2268.7	2264.2	2260.2	2256.7	12.0	11.2
	2232.8	2229.3	2225.9	2222.4	10.4	

* Fig. 5에 나타난 마모시험 1, 2, 3cycle 마다 각각 측정된 질량

발생하여 더 큰 값의 부착강도를 나타내었다. Table 4는 실제적인 콘크리트 파괴모드에 가까운 경사전단시험을 실시하였을 때 모체와 패칭재료 사이 경사면에서 발생하는 두 응력을 산출한 것이다.

4. 염소이온투과시험

염소이온투과에 의한 전하량 측정방법에 따라서 패칭재료의 투수성을 측정하였다. Table 5에서 보는 바와 같이 A1, A2 모두 염소이온투과량이 overflow를 나타내 염소이온의 투과가 매우 큰 것을 볼 수 있었다. 또한 KS F 4042에서 규정한 1,000 Coulombs 이하의 값을 훨씬 초과하는 값으로 수밀성이 요구되는 수중 구조물에 적용되는 수중보수재료로서 적합하지 않다고 볼 수 있다. 그러나 염소이온투과량이 투수특성을 나타내는 절대적인 값이 아니므로 추후 다른 투수성능시험 등을 통해

투수특성에 대한 종합적인 정리가 필요하다고 판단된다. 한편, 높은 압축강도에 비해 낮은 염소이온투과저항성을 나타내는 이유는 본 연구에 사용된 두 패칭재료 모두 강한 점성으로 인해 작업성이 좋지 않았다. 이로 인해 일반 콘크리트나 모르타르에 비해 다짐이 불량하고 이는 내부 공극률을 증가시켜 높은 염소이온 투과량을 나타낸 것으로 보인다.

5. 마모저항성시험

마모저항성시험 결과는 Fig. 5와 Table 6에 나타내었다. A1과 A2 모두 1 % 이내의 질량 감소율을 보였으며 A1이 A2보다 더 큰 질량 감소율을 보여 상대적으로 낮은 마모저항성을 나타냈다. 이는 A2가 A1에 높은 W/M를 가져 상대적으로 밀실한 구조를 가지므로 마모에 대한 저항성이 큰 것으로 보인다.

IV. 결 론

시중에서 판매되는 두 종류의 수중보수용 패칭재료의 성능을 평가하기 위하여 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 패칭재료의 배합 시 빠른 경화 특성을 고려하여 1회 보수공사에 소요되는 양만 계량하며 1분 내외로 배합하여야 한다. 또한 보수공사 도중에 경화되는 것을 방지하기 위하여 배합한 패칭재료는 수중에서 보관하여야 한다.

2. 패칭재료들의 강도 특성을 알아보기 위하여 재령 7일, 재령 28일에 대한 압축강도시험을 실시한 결과 재료에 관계없이 20 MPa 이상을 나타냈으며 A2가 A1보다 상대적으로 더 높은 강도 값을 나타내었다.

3. 부착강도 시험을 실시한 결과 A2가 A1보다 상대적으로 더 높은 부착강도 값을 가졌으며 두 재료 모두 KS에서 규정하고 있는 부착강도 1.0 MPa의 기준을 만족시켰다.

4. 마모저항성시험을 실시한 결과 두 재료 모두 1 % 이내의 질량 감소율을 보였으며 A2가 A1보다 더 낮은 질량 감소율을 보여 높은 마모저항성을 나타냈다.

5. 패칭재료의 투수 특성을 알아보기 위해 염소이온투과시험을 실시한 결과 두 패칭재료 모두 과도한 투과 특성을 가졌다. 그러나 염소이온투과량이 투수특성을 나타내는 절대적인 값이 아니므로 추후 다른 투수성능시험 등을 통해 투수특성에 대한 종합적인 정리가 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

1. Baek, S. W., 2003. An Experimental Study on the

- Strength and Permeability Characteristics of Repair Mortar. KOSOS 18(4): 105-109 (in Korean).
2. *Concrete Standard Specification*, 1996, 274-286, ASCE (in Korean).
3. *Concrete Standard Specification*, 2003, KCI-AD 102, KCI (in Korean).
4. Jung, S. W., 2001. Optimization of Epoxy Resin System for Concrete Crack Repair. Master diss. : Konkuk University (in Korean).
5. *Latest Concrete Engineering*, 2007. KCI (in Korean).
6. Park, J. M., Hong, S. N., and Park, S. K. 2003. Performance Evaluation of the Underwater Structure which used a Epoxy Panel. *Proceedings of KCI* 15(2): 343-346(in Korean).
7. Son, Y. H., Lim, C. J., Seo, J. W., and Park, Y. S. 2002. Evaluation of Bond Strength It Durability of Repairing materials for Underwater Concrete Structures. *Proceedings of KCI* 14(2): 829-834 (in Korean).
8. *Quality of Anti-Washout Admixture for Concrete*, 1995, ASCE (in Korean).