

콘크리트 복개구조물용 보수재료의 성능 평가

Evaluation of Performance on Repair Materials for Creek Concrete Structures

이 창 수*

Lee, Chang-Soo

Abstract

The deterioration rate of concrete structures in urban area is accelerated due to rapid urbanization and environmental pollution. Repair materials and methods newly introduced in Korea should be investigated whether they are appropriate for the urban environment in Korea. The creek concrete structures are exposed in severe environmental condition than others. Based on these background in mind, the study is focused on evaluation of performance on repair materials used to rehabilitate creek concrete structures.

To evaluate the performance of repair materials, four kinds of repair materials were selected based on polymer emulsion. This experimental study was conducted on fundamental performance such as setting time, compressive strength, bending strength, bonding strength, thermal expansion coefficient, and durability performance such as chloride diffusion, carbonation, chemical attack, and steel corrosion rate. On the basis of this study, the optimal repair material which is proper to the environment condition can be selected and service life of creek concrete structures can be extended. As a result, the life cycle cost can be reduced and the waste of material resources will be cut down.

keywords : Creek concrete structures, Durability, Performance, Repair materials

1. 서 론

도시지의 급격한 인구 밀집화 및 교통량 증가로 콘

크리트 구조물이 접하는 외기 환경은 매우 악화되고 있으며¹⁾ 이에 따라 구조물의 내구수명이 심각히 단축되고 있다. 밀려온 서울시 콘크리트 구조물의 한양어

* 성희원, 서울서립대학교 토목공학과 교수, 공학박사
E-mail - csll@uosec.nes.ac.kr 011-392-5335

* 본 논문에 대한 보좌금 2002년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2002년 7월호에 보좌편지를 게재하겠습니다.

위한 연구결과에 따르면 전체 치운시 구조물의 35%가 보강우치가 손상이 있는 상태이고, 5%가 시급한 보수(강)가 필요한 것으로 조사되었다. 이에 따른 우리나라의 유지관리 비용도 급격히 증가할 것으로 예상되며 미국의 경우는 지난 19년 동안 3.3조 달러, 영국은 매년 5억 파운드 이상을 구조물의 보수(강) 비용으로 지출할 정도로 선진국에서도 심각한 사회적 문제가 되고 있다. 국내에도 지방자치체가 도입되면서 구조물의 유지관리 비용은 심각한 재정적자와 원인이 될 수 있기 때문에 도시지 구조물의 내구수명을 연장시킬 수 있는 경제적이고 경제적인 보수공법에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.^{10,11)}

콘크리트 복개구조물은 다른 콘크리트 구조물에 비해 밀착한 환경에 노출되어 있지만 외관상으로 노출되지 않기 때문에 구조물의 준공 후 제대로 유지관리가 되지 않는 경우가 비일비재하다. 따라서 밀착된 콘크리트 복개구조물에 대한 시급한 보수가 요구되며 이미 보수된 구조물도 상당하지만 주변환경에 대한 적절한 고려 없이 일관화된 질과와 기준에 따른 보수공법의 적용으로 성능향상 효과의 차이가 매우 크다.

그래서 본 연구는 환경여건상 보수가 시급한 콘크리트 복개구조물용 보수재료의 기초특성 및 내구성유 종합 평가함으로써 보수재료의 신뢰성 제고 및 적절한 선정기준을 제시하고자 한다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

지금까지 다양한 보수재료가 개발되었으나 폴리머콘크리트와 일정량 최첨단 재료의 사용이 많다. 폴리머계 재료는 시멘트 비합수와 반응하여 인타액 상태로 시멘트와 골재와 계면에 침투하여 공극을 채우고 고형화 되면서 조직체를 안정화시켜 기초침상 및 내구성 증진효과가 큰 것으로 알려져 있다.^{9),12)}

본 연구에서는 Table 1과 같이 국내에서 많이 사용되고 있는 수용성아크릴계 폴리머시멘트, SBR계 폴리머시멘트 등의 각 1종과 부가제 폴리머시멘트 2종류 등 총 3개의 보수모르터를 선택하여 최적 배합으로

Table 1 보수모르터의 구성분 및 용도

종류	구 성 분	용 도
OPM	보강폴리머시멘트	보강모르터
SM	부가제폴리머시멘트	보수용 측정용 모르터
ST	부가제폴리머시멘트	단면수축용 모르터
RE	수용성아크릴계 폴리머시멘트	단면수축용 모르터
RP	SBR계 폴리머시멘트	단면수축용 모르터

Table 2 골재의 물리적 성질

항목 종류	미중	중수율 (%)	포집률	유기 물분량	단위중량 (kg/m ³)
관찰제	2.61	0.86	2.61	양호	1605

Table 3 기초모형 시험기준

시 험 항 목	시험기준
윤 결 시 간	KS L 5103, KS L 5108
압 축 강 도	KS L 5105
휨 강 도	ASTM C 293
휨 처 강 도	KS F 4715
형상안 계수	KS F 2424

제작한 후 각 시험조건에 따라 기초침상 및 내구성 시험을 실시하였다. 시험항목별 성능은 KS L 5201에 적합한 시멘트로 제작된 보강모르터와 대비하였으며 사용제품의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.2 기초모형 시험

보수재료의 기초침상에 대한 기준은 Table 3에 의 하여 시험을 실시하였다.

2.3 내구성 시험

2.3.1 내화특성 시험

5×5×5cm의 입방체 공시체를 제작 1일 후, 7일간 기 중양생하여 CaCl₂(10%), Na₂SO₄(10%) 및 H₂SO₄(5%) 수용액에 침지하고 KS L 5105의 기준에 따라

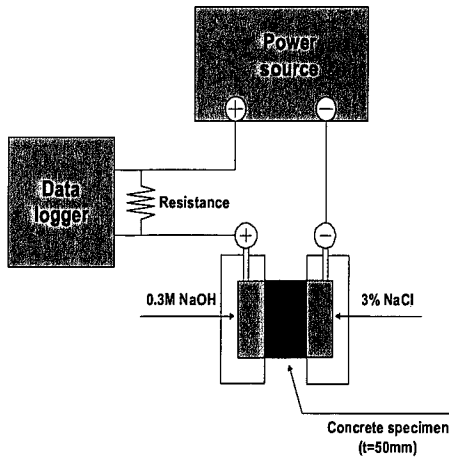


Fig. 1 연수이온 침투저항시험장치(ASTM C 1202)

지령 28, 56 및 91일까지 압축강도와 증광면화후 측정하였다.

2.3.2 연수이온 침투저항성 시험

10×20cm 원수형 공시체를 제작하여 28일 표준양성된 시험체를 Fig. 1과 같이 ASTM C 1202 규정에 따라 총동전하량을 산정하였다.

2.3.3 증광화 석출성

5×5×5cm 입방체 공시체를 7일간 기중양성하여 온도 40℃, 상대습도 60% 및 CO₂농도 10%의 시험조건으로 증광화 촉진시험을 진행하였다. 총 91일 동안 촉진시킨 후, 공시체의 단면을 탈칼하여 파단면에 1% 메놀프탈레인 용액을 분부하여 미화색 깊이를 증광화 깊어로 간주하였다.⁶¹⁾

2.3.4 매입철근의 부식속도

Fig. 2와 같이 460×100mm의 원수형 모르타르를 제작하여 현축 끝에 봉선용 리드선을 연결한 후 원형 강봉을 매입하여 철근의 부식속도용 시험체를 제작하였다. 시험체는 인공해수 중에 3일 침지, 4일 건조를 1사이클로 하여 총 21사이클 동안 촉진하였다. 또한 시험체 내부의 철근부식 속도를 측정하기 위하여

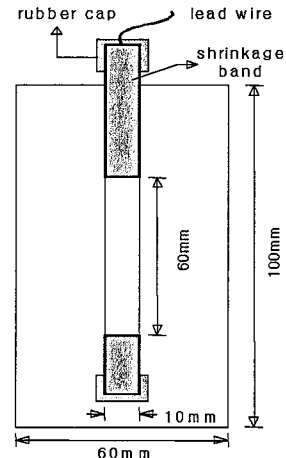


Fig. 2 철근부식 시험용 콘크리트

EG&G사의 M273기기를 사용하여 무의선풀밀도후 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 기초물성 시험

구조물의 손상 및 환경조건에 따라 적절한 가시시간이 요구되므로 보수재료의 선택시 응결시간과 점도가 반드시 필요하다.

시험결과 보수재료의 응결시간은 SM의 경우에는 초결시간이 36분, 종결시간이 54분으로 개사시간이 매우 짧았으며 ST는 초결시간이 90분, 종결시간이 140분 정도로 측정되어 교량의 슬래브, 터널 및 하수 파스의 현장에 사용하기에는 적당한 응결시간으로 사료된다. RE와 RF는 각각 초결시간이 150분, 170분이며 종결시간은 320분, 350분으로 OPM과 유사하였다.

Fig. 3은 상온에서 시험재료의 응결시간을 정리한 것이다.

보수재료의 기능성과 적합성을 판단하기 위한 지표로 압축강도의 점도는 반드시 필요하다.

시험결과 보수모르타르의 압축강도는 양생방법에 따라 크게 다른 양상을 보였다. OPM의 압축강도는 기중양

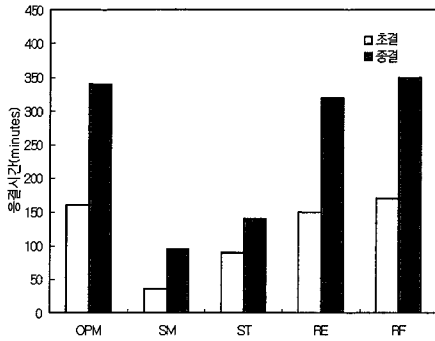


Fig. 3 모르타의 응결시간

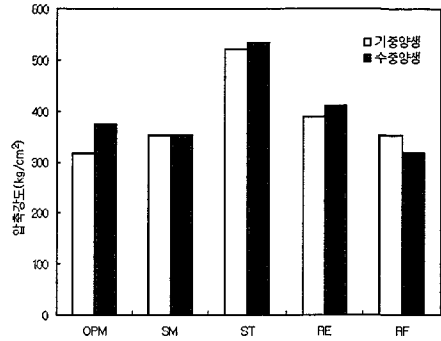


Fig. 4 양생방법에 따른 압축강도(재질 28일)

Table 4 모르타의 양생방법에 따른 압축강도 측정결과

종류	재질		3일	7일	28일
	기중양생	수중양생			
OPM	기중	수중	220	267	317
	수중	기중	308	308	375
SM	기중	수중	250	310	352
	수중	기중	262	324	353
ST	기중	수중	317	436	522
	수중	기중	337	450	534
RE	기중	수중	220	338	380
	수중	기중	241	354	412
RF	기중	수중	201	310	352
	수중	기중	195	242	310

(단위 : kgf/cm²)

생 보다는 수중양생이 높았지만 SM와 ST는 기중양생과 수중양생 압축강도가 거의 동일하였다. 보수재료의 경우 일반 콘크리트와는 달리 현장 기중양생을 하는 경우가 많으므로 기중양생 강도가 보수재료로 채택하는데 중요한 고려사항인 것으로 사료된다.

Table 4와 Fig. 4는 보수모르타의 양생방법에 따른 압축강도를 정리한 것이다.

보수재료는 주로 구배 표면에 시공되기 때문에 구조적 균열에 대한 저항성을 판단하기 위해서 휨강도의 검토가 필요하다.

시험결과 재령에 따른 휨강도는 ST의 경우 1.1 kgf/cm² 정도로 우수한 강도를 보였다. ST와 비교적

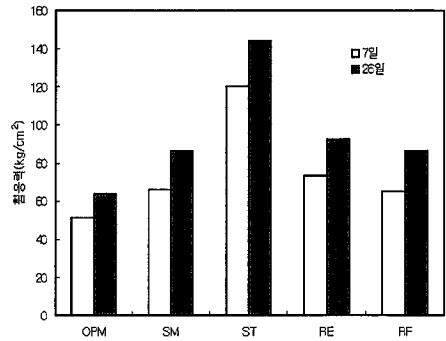


Fig. 5 재령에 따른 모르타의 휨강도

모던하중을 많이 받는 콘크리트 부재의 보수재료로서 사용할 경우 균열에 대한 저항성과 다소의 휨보강 효과도 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 5는 재령에 따른 모르타의 휨강도를 정리한 것이다.

보수재료는 단면수축재료로 주로 사용되므로 재료의 침침할 때 기존 콘크리트 구조물의 접착강도를 반드시 고려해야 한다.

시험결과 모든 보수모르타의 접착강도가 보통모르타 보다는 크게 측정되었지만 양생방법에 따른 강도의 차이가 다소 나타났다. ST와 SM은 표면에 미치러워 레이탄스까지 경화시켜 양생방법 및 표면처리 여부에 상관없이 우수한 결과를 보였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 양생방법과 표면처리상태에 따른 접착강도를 정리한 것이다.

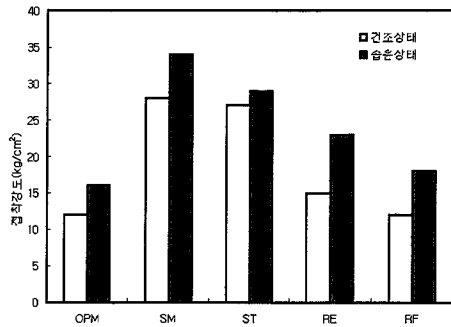


Fig. 6 비달콘크리트의 알칼리도에 따른 결정도 (제형 28일, 표면치리)

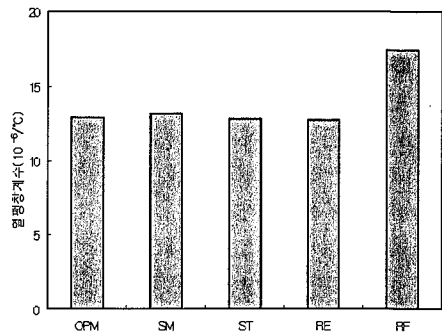


Fig. 8 모르터의 알칼리도

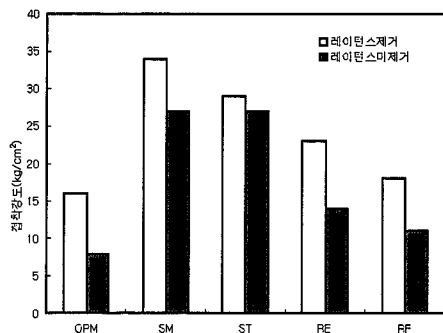


Fig. 7 비달콘크리트에 따른 결정도 (제형 28일)

기존의 콘크리트와 보수재료가 장기적인 일체화과 이루기 위해서는 콘크리트와 보수재료의 계면에서 열팽창계수, 탄성계수 및 장기전소수축과 같은 역학적 특성이 일치화되어 선단응력으로 인한 보수재료의 계면 탈락이 발생하지 않아야 한다.

열팽창계수 시험결과 SM, ST, RE는 OPM과 유사 하였으나 RF는 OPM에 비해 35% 정도 차이를 보여 보수시공사 양생방법 및 기온, 주변환경 등와 여러 조건을 고려해야 할 것으로 사료된다.

이상의 모르터의 열팽창계수를 정리한 것이 Fig. 8 이다.

3.2 내구성 시험

3.2.1 내화학적 시험

복제구조물 환경은 오수 및 하수 중의 염가성 매대 리의 분해작용에 의해 생성되는 각종 가스가 구조물 내부에 존재하는 산소 및 수분과 결합하여 각종 화학 물질에 의한 침식작용이 발생하기 쉽다.

내화학적 시험결과 CaCl₂ 10% 수용액 침지 시험에서 SM은 8%, RE와 RF는 각각 19%, 27% 강도가 감소하였고 ST는 2% 증가하였다. NaCl 10% 수용액의 경우 RE와 RF가 각각 28%, 17%로 강도 감소율을 보여 실구조물 적용시 상당한 수의가 필요한 것으로 사료된다. 또한 H₂SO₄ 5% 수용액에 침지한 보수모르터들은 ST를 제외한 모든 재료가 20% 내외의 강도감소율을 보여 구조물이 접하고 있는 외기환경을 충분히 고려하여 보수재료를 선택하는 것이 매우 중요하다고 판단된다.

Fig. 9는 CaCl₂ 10%, Na₂SO₄ 10%, H₂SO₄ 5% 수용액에 91일간 침지 했을 때의 압축강도비율 정리한 것이다.

CaCl₂ 10% 수용액에 침지한 보수모르터의 증량이 약간의 감소 내지는 증가현상을 보였지만 외관상와 변화는 거의 없었으며 Na₂SO₄ 10% 수용액에 침지한 경우 RE와 RF가 표면에 팽창성 물질의 생성으로 각각 14%, 15%의 증량감소를 보였다. 또한 H₂SO₄ 5% 수용액에 침지한 경우 ST를 제외한 모든 모르터들이 20%내외의 증량감소를 보였다. 결과적으로 하수 박스등 화학약품과 영향용 많이 받는 구조물의 보수재료로는 ST가 가장 적절할 것으로 판단된다.

Fig. 10은 CaCl₂ 10%, Na₂SO₄ 10%, H₂SO₄ 5%

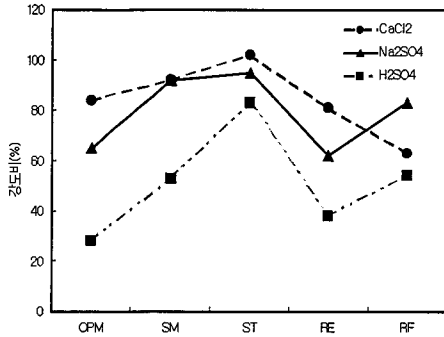


Fig. 9 모르타의 상대습도(제일 91일)

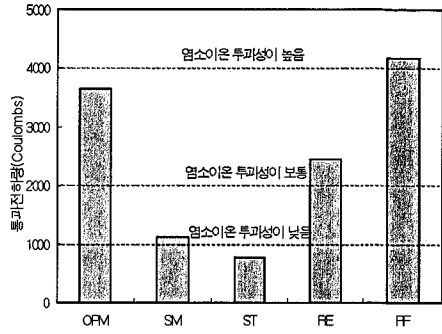


Fig. 11 모르타의 총염분화합

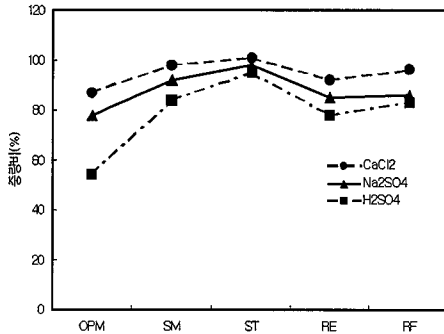


Fig. 10 모르타의 상대습도(제일 91일)

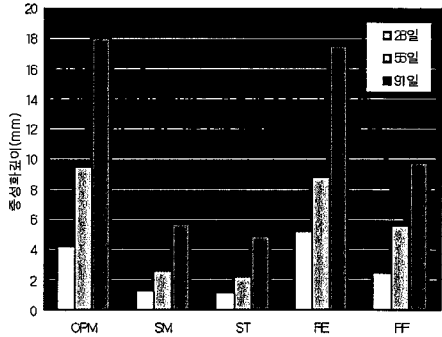


Fig. 12 모르타의 염분침투 깊이

수용액에 91일간 침지 했을 때와 증광비율 나타낸 것이다.

3.2.2 염소이온 침투저항성

건설초기 해사의 사용 및 토양의 염소이온이 침투하여 봉계구조물 내부의 철근은 부식되기 쉽다. 그래서 보수재료와 주요성분 중에는 철근을 부식으로부터 보호하기 위해 우수한 저항성은 반드시 요구되는 성능이다.

염소이온 침투저항성 시험에서 RE와 RF가 다소 염분침투가 큰 것으로 측정되었고 ST는 총염분화합이 OPM의 21% 수준으로 염분침투에 대한 저항성이 우수하여 토양으로부터 염분침투가 심한 곳에 위치한 봉계구조물의 보수에 매우 유용할 것으로 판단된다.

Fig. 11은 모르타의 총염분화합을 정리한 것이다.

3.2.3 보수모르타의 증빙화

도심지 구조물과 같이 이산화탄소의 농도가 높은 지역이 위치한 구조물의 보수재료는 높은 증빙화 저항성이 반드시 필요하다.

증빙화 촉진시험에서 ST는 모든제형에서 OPM의 27%정도의 진과를 보여 증빙화 현상이 심한 도심지 구조물의 보수용으로 적합할 것으로 사료된다. 그러나 RE의 경우 OPM과 유사한 증빙화진행속도를 보였다.

Fig. 12는 촉진제형에 따른 증빙화 깊이를 정리한 것이다.

3.2.4 미결철근과 부식속도

콘크리트 내부의 철근과 부식은 구조물 표면에 높은 염화물 농도를 발생과 더불어 재표면의 탈락을 유발시켜 구

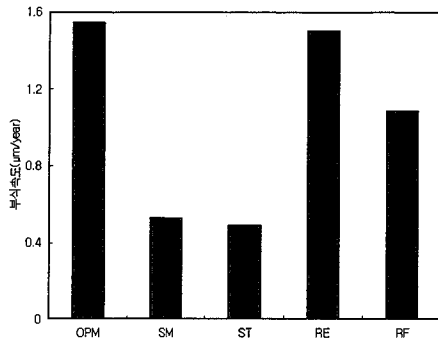


Fig. 13. 불특정조건에 의한 철근의 시정정량

조금의 열화현상을 가속화시키기 때문에 복기구조복과 같이 유리한 환경에 시공되는 보수재료는 철근의 방의 효과가 높아야 한다.

시험결과 염분의 침투가 상대적으로 많았던 RF와 RE의 경우 철근의 부식속도는 OPM과 유사하였으며 SM과 ST는 각각 OPM의 34%, 32% 정도로 우수한 방식효과를 보였다.

Fig. 13은 보수재료의 철근부식의 방지 효과를 평가하기 위하여 24사이클 동안 인공해수에서 부식 촉진시켜 타겟 외삽법에 의해 구한 부식속도(μm/year)를 정리한 것이다.¹⁴⁾

4. 결 론

국내에 시판중인 4가지의 보수재료한 선정된 후, 실내에서 인공적으로 복기구조의 환경을 모사하고 제염에 따른 응결시간, 압축강도, 휨강도, 부착강도 및 열팽창계수 등의 기초특성과 내화특성, 염소이온 침투 저항성, 콘크리트의 증식화, 철근부식 및 동해 포괄적인 내구성 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RF를 제외한 모든 보수재료의 응결시간이 보통 모르타 보다 짧았으며 압축강도, 휨강도 및 부착강도 등의 역학적 성질은 비교적 우수하였다 그러나 열팽창계수는 SM과 ST는 보통모르타와 유사하였고 수용성이크릴계 폴리머시멘트인 RF는 35%정도 큰 차이를 보였다.

- 2) 내화특성은 SM과 ST가 워화합 및 팽창억제 유효하며, RE와 RF는 각각 팽창억제 용액에서 28%, 워화합 용액에서 27%의 강도감소율을 보였다. 또한 ST를 제외한 모든 모르타가 팽창에 대한 저항성이 낮았다.

- 3) 염소이온침투 저항성은 RF를 제외하고 보통이상이었으며 증식화는 RE를 제외한 모든 보수모르타가 우수한 결과를 보였다. 결과적으로 RE와 RF는 방청능력이 좋지 않은 것으로 판단된다.

이상의 연구 결과를 종합해 볼 때, 보수재료는 열화요인에 따라 상이한 시험 결과를 보이고 있어 치표 및 공법 선택시 구조물의 외기환경 및 필요조건을 종합적으로 고려하는 것이 중요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이창수 외, "서울시내 140개 철근콘크리트 교량의 내구성 현황분석," 한국구조물진단학회 논문집, 제4권 3호, July 2000, pp. 161-168
2. 이창수 외, "철근이 부식된 콘크리트구조물 보수재료의 내구성능평가," 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제10권 제2호, 1998, pp. 857-860
3. 이창수 외, "노후화된 콘크리트 구조물용 보수재료의 기초특성에 대한 연구," 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제10권 제2호, 1998, pp. 867-870
4. 차도연, "보수방법에 따른 콘크리트 구조물의 내구성에 관한 연구," 서울대학교 석사학위논문, 1999.
5. 건설교통부, "콘크리트 교량의 보수·보강방법의 표준화," 1999.
6. P.H. Eimmons et. al., "System Concept in Design and Destruction of Durable Concrete Repairs," Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 1, 1996, pp. 69-75
7. J.G. Cabrera et. al., "Performance Properties of Concrete Repair Materials," Construction and Building Materials, Vol. 11, No. 5-6, 1997, pp. 283-290

8. Y. Obama, "Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience," *Construction and Building materials*, Vol. 10, No. 1, 1996, pp. 77-82
9. D.R. Morgan, "Compatibility of concrete repair materials and systems," *Construction and Building materials*, Vol. 10, No. 1, 1996, pp. 57-67
10. M.H. Decter, "Durable concrete repair: Importance of compatibility and low shrinkage," *Construction and Building materials*, Vol. 11, Nos. 5-6, 1997, pp. 267-273
11. RIREM Draft Recommendation CPC-18, "Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth," *Material and Structures*, 21, No. 126, 1988, pp. 453-455
12. Y. Obama, "Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars," NOYES PUBLICATION, 1995, pp. 11-16
13. R.T.L. Allen et. al., "The Repair of Concrete Structures," Chapman & Hall, 1993, pp. 37-55
14. M.G. Fontana, "Corrosion Engineering," McGraw-Hill Book Company, 1986, pp. 499-502
15. D.W. Fowler, "Polymers in Concrete: a Vision for the 21st century," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, 1999, pp. 439-452
16. J.H. Kim et. al., "Structure and Properties of Poly(Vinyl Alcohol) - Modified Mortar and Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 407-415
17. K.S. Kebiz, "Precast use of Polymer Concrete using Unsaturated Polyester resin based on recycled PET Waste," *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 3, 1996, pp. 215-220
18. O. Figosky, "Development of Polymer Concrete with Polybutadiene Matrix," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 18, 1996, pp. 437-441
19. K.T. Varughese et. al., "Fly Ash as Fine Aggregate in Polyester Based Polymer Concrete," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 18, 1996, pp. 105-108
20. P.S. Mangat et. al., "Effect of Initial Curing on Chloride Diffusion in Concrete Repair Materials," *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 1475-1485

(접수일자 : 2001년 8월 14일)