

에폭시 수지 접착 강판보강공법의 환경 변화에 따른 부착 특성 검토

Investigation on Adhesive Properties depending on the Environmental Variation of the Steel Plate Adhesive Strengthening Method by the Epoxy Resin

한 천 구*

Han, Cheon-Goo

변 항 용**

Byun, Hang-Yong

박 용 규***

Park, Yong-Kyu

Abstract

This study is to investigate adhesive properties depending on the temperature, humidity, and freeze-thaw of the Steel plate adhesive strengthening method by the epoxy resin. The results are summarized as following. For the temperature variation, the debonding failure appear only after 1 cycle of temperature variation because the coefficient of thermal expansion of the epoxy resin is comparatively large, and the bonding strength is decreased. The deformation properties and ultrasonic pulse velocity on each materials are similar until 4 cycles on the dry and moisture test. As the freeze-thaw test, the epoxy resin is degraded easily subjected to freeze-thaw cycle, comparatively easy, so the debonding failure may occur in short term because of the freeze-thaw repetition.

키 워 드 : 에폭시 수지, 강판 보강 공법, 환경 변화, 부착특성

Keywords : Epoxy resin, steel plate adhesive strengthening method, Environmental variation, Adhesive property

1. 서 론

내력이 부족한 RC 구조물의 보수·보강에는 다양한 공법들이 보고되고 있다.

이 중 강판보강공법은 노후화 혹은 부실 시공된 콘크리트 구조물에 내하력을 향상시킬 목적으로 1964년 남아프리카의 Durban에서 처음 적용된 이래 1970년대 이후부터 일본과 우리나라 등에서 교량과 건축물의 보강에 널리 적용되었다. 이는 시공기간이 짧고 사용 중인 구조물에도 적용이 가능하다는 것과 부재치수의 변화가 적으며, 특히 콘크리트 구조물의 표면에 접착제로 부착시키는 것만으로도 충분한 보강효과를 얻을 수 있다는 것 때문에 널리 사용되어 왔다.

그러나, 이러한 외부 접착에 의한 강판보강공법의 도입에 앞서 국내의 환경변화까지도 충분히 연구하여 활용성을 검토했어야하나, 그렇지 않고 단순히 구조적인 측면에서만 실험을 거쳐 그대로 도입하는 결과가 되었는데, 그렇다보니 최근에 들어서 에폭시 수지에 의해 강판으로 외부 접착 보강된 실구조체에서 그림 1과 같이 박리되는 사례가 발견되고 있다.²⁾ 특히 이런 에폭시 수지 접착에 의한 강판보강공법은 내부의 구조를 직접 관찰하는 것이 어렵고, 또한, 박리 여부를 정확히 확인 할 수 없으므로 경우에 따라서는 예상하지 못한 사고에 직면 할

수도 있다.

따라서 본 연구에서는 선행 연구³⁾에서 제기된 각 재료들의 물리적 특성 차이에 의한 박리 원인 규명의 연속으로서, 에폭시 수지 접착 강판보강공법의 환경 변화에 따른 부착성 변화를 검토함으로써 에폭시 수지 접착에 의한 강판보강공법의 박리 원인을 재료적 측면에서 규명하고자 한다.

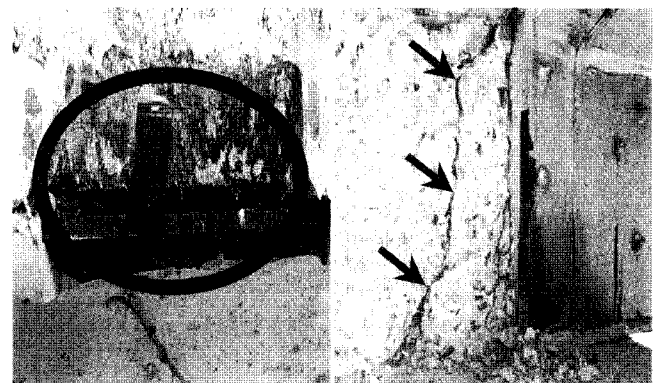


그림 1. 강판의 박리 사진¹⁾

* 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

** 청주대 박사과정, (주)고려E&C 대표이사, 정회원

*** 아주 기술 연구소 주임연구원, 공학석사, 정회원

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 실험요인으로는 W/B 25%인 고강도 콘크리트와 60%인 일반강도 콘크리트 2수준의 바탕 콘크리트를 제작하고, 보강재로 강판을 에폭시 수지를 이용하여 그림 2와 같이 부착하는 것으로 실험 계획 하였다. 이때 접착제인 에폭시 수지는 일반 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 강판용 에폭시 수지를 사용하였다.

실험사항으로는 바탕 콘크리트에 강판을 부착한 상태에서 고온·저온 반복 시험, 건조·습윤 반복 시험, 동결융해 반복 시험을 실시하고, 부착특성을 파악하기 위해 와이어 스트레인 게이지를 이용하여 각 재료의 변형을 파악하고, 시험 전, 후에는 초음파 전파속도 및 부착강도를 측정하여 박리상태를 확인하는 것으로 하였다. 단, 본 실험은 바탕 콘크리트에 강판을 부착한 후 실내 실험실에서 6개월간 양생 후 실시하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
바탕 콘크리트의 구분	2	· 고강도 (W/B=25%) (슬럼프플로우:600mm, 공기량:3%)	
		· 일반강도(W/C=60%) (슬럼프플로우:150mm, 공기량:4.5%)	
부착 특성	부착재 조합	1	- CO+EP+St*(사진. 2 참조)
	온도변화	3	20±0℃(4사이클)
			20±20℃(4사이클)
			20±40℃(4사이클)
건습변화	1	4사이클	
동결융해	1	4사이클	

※ 기호중 CO는 콘크리트, EP는 에폭시 수지, ST는 강판을 의미함

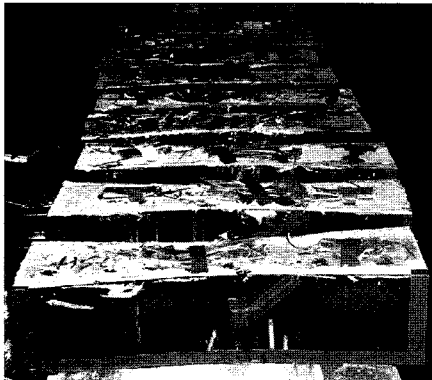


그림 2. 모의 구조체 제작 사진

2.2 사용재료

실험체의 제작에 사용된 바탕 콘크리트에는 보통 포틀랜드 시멘트에 최대치수가 25mm인 굵은 골재를 사용하여 제작하였는데, 바탕 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같고, 그 강도는 표 3과 같다. 실험에 사용된 보강재로 강판은 P사의 제품을 사용하였고, 에폭시 수지는 강판용으로 지정된 J사의 제품을 사용하였다. 각 재료의 선행창계수는 표 4와 같고, 그에 따른 각 재료의 물리적 성질은 표 5 및 표 6과 같다.

표 2. 바탕 콘크리트의 배합표

W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	질량배합(kg/m ³)				
					C	FA	SF	S	G
25	165	43	2.5	0.003	462	132	66	528	733
60	170	46	1	0.003	283	-	-	799	983

표 3. 바탕 콘크리트의 강도 (단위 : MPa)

W/B (%)	구 분	재 령(일)			
		3	7	28	91
25	압축강도	26.2	35.4	61.5	73.0
	인장강도	8.5	11.0	16.7	17.3
60	압축강도	10.6	19.5	26.3	28.0
	인장강도	4.5	6.7	9.1	9.4

표 4. 각 재료의 선행창 계수

재 료	선행창 계수 (×10 ⁻⁵ /℃)
콘크리트	9.2
에폭시 수지	41.9
강판	11.9

표 5. 강판의 물리적 성질

두께 (mm)	질량 (kg/m ²)	등급	인장시험		
			항복점 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
2.3	17.94	1	282	364	42

표 6. 에폭시 수지의 물리적 성질

시험항목		주입용
인장강도(MPa)		60
압축강도(MPa)		75
전단강도(MPa)		11.5
밀도 (g/cm ³)	주제	1.13
	경화제	0.97
	혼합	1.07
점도 (cps)	주제	300
	경화제	25
	혼합	108

2.3 실험방법

바탕 콘크리트와 관련하여 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 타 입 믹서를 사용하여 KS F 2425에 의거하여 혼합하였고, 압축 강도 및 인장강도는 KS F 2405, KS F 2423의 방법으로 실시하

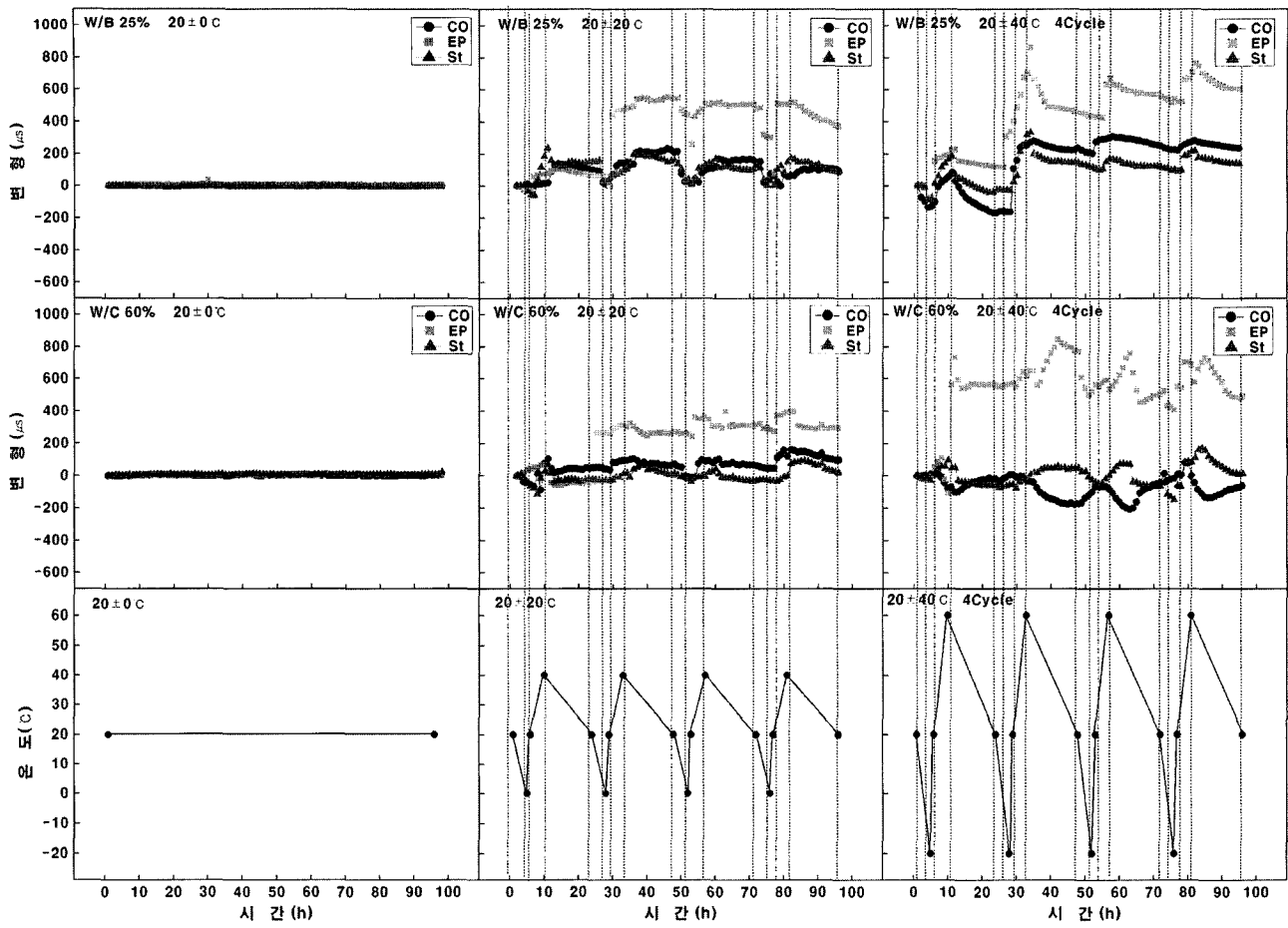


그림 3. 고온·저온 반복 시험에 따른 재료의 변형 특성

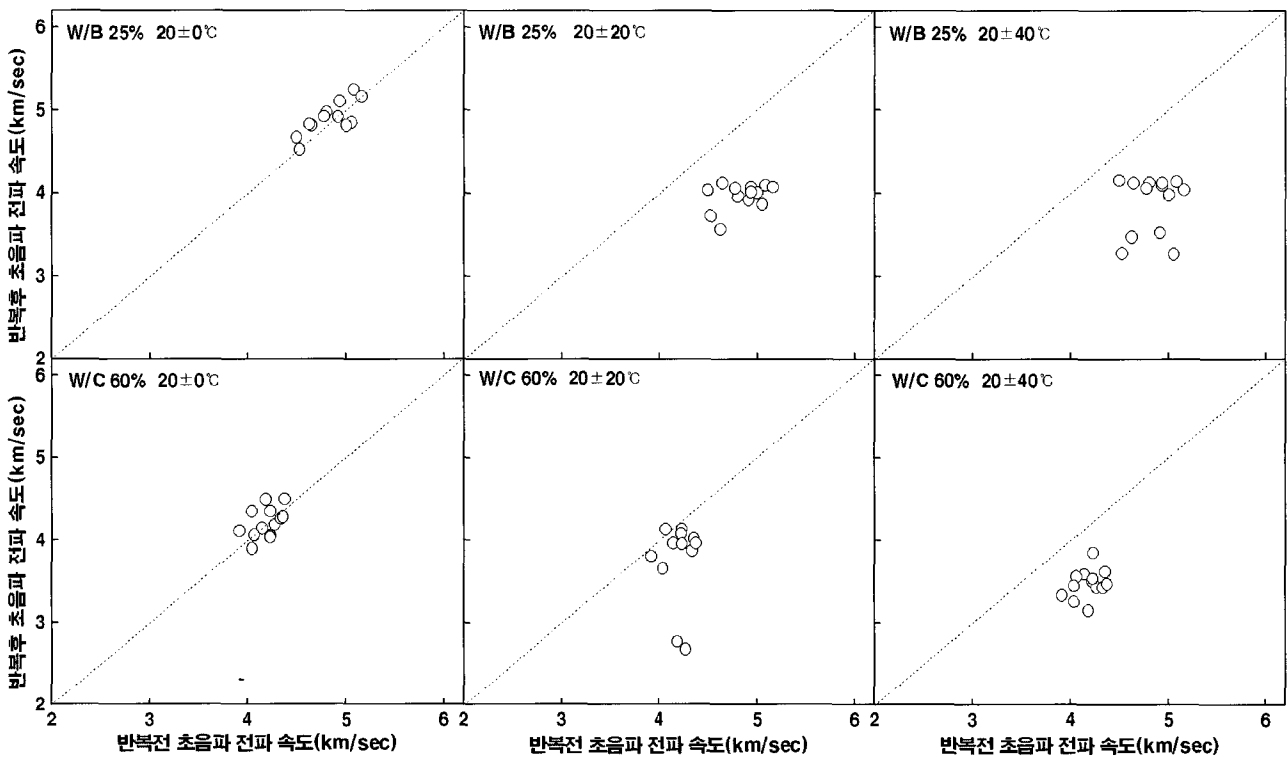


그림 4. 고온·저온 반복 시험에 따른 초음파 전파 속도 비교

였다. 부착특성 실험으로 고온·저온 반복 시험은 KS F 4912에 의거 실시하였고, 건조·습윤 반복 시험은 KS F 4923에 의거 실시하였으며, 동결융해 시험은 KS F 2456에 의거 실시하였다. 실험 중의 변형 측정은 콘크리트, 에폭시 수지, 강판의 각 표면에 와이어 스트레인 게이지를 붙여서 측정하는 것으로 하였으며, 초음파 전파 속도는 KS F 2731에 의거하여 직접법으로 총 13점에서 측정하였다. 부착강도는 KS F 4918에 의거 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 온도변화 요인

3.1.1 변형특성

그림 3은 바탕재 강도 변화(W/B)별 온도변화의 요인으로서 고온·저온 반복에 따른 각 재료들의 변형 특성을 나타낸 것이다.

20±0℃의 경우는 W/B에 관계없이 거의 변형이 일어나지 않는 것으로 나타났다. 하지만 20±20℃의 경우는 W/B 25%와 60%인 바탕 콘크리트에서, 에폭시 수지 및 강판은 온도변화에 따라 1사이클까지는 거의 같은 양상을 보이는 변형을 나타냈으나, 접착제인 에폭시 수지 부분에서 1사이클의 온도변화가 지난 후 급격한 변형율의 증가를 보였다. 그러나, 20±40℃의 경우에서는 1사이클의 온도변화가 끝나기전 시점에서 에폭시 수지 부분에서 큰 팽창을 보이고 있는 것을 알 수 있었다. 즉, 이와 같은 결과는 20℃에서 ±20℃이상 변화되는 온도 조건이면 표 4와 같이 콘크리트보다 4~5배 큰 선팽창계수를 갖는 에폭시 수지의 팽창·수축율 차이에 따른 전단응력으로 1사이클 이후부터 콘크리트 표면에서 에폭시 수지가 박리되어지게 됨을 시사하는 그래프이다. 또한, W/B 차이에 따라서는 W/B 25%에서는 각 재료의 큰 변형 차이에도 불구하고 특히 ±40℃에서 완전히 박리 되지 않는 경향이 나타나고 있지만 W/C 60%의 경우는 각 재료들이 각자 다른 변형 거동을 보이고 있는데, 이는 큰 차이는 아닐지라도 바탕 콘크리트 강도의 영향에 의한 부착강도 차이인 것으로 사료된다.

3.1.2 초음파 전파 속도 특성

그림 4는 중앙부 12개 측정에서 고온·저온 반복 시험 전·후의 초음파 전파 속도를 비교한 것이다.

W/B 25%와 W/C 60% 모두 20±0℃에서는 중앙선 상하로 퍼져 초음파 전파 속도의 변화가 거의 없었으나, 20±20℃ 및 20±40℃의 경우는 측정값들이 모두 45° 선의 아랫부분에 위치하여 고온·저온 반복 시험 후 초음파 전파 속도가 느려졌다는 것을 알 수 있다. 이는 온도 변화에 따라서 초음파의 전달 경로인 매질 중 일부가 비어 초음파 전파시 영향을 받았기 때문으로 사료되며 그림 3의 변형 특성과 연결해보면 각 재료의 계면부분에서 박리가 발생된 것임을 입증하는 결과이다.

3.1.3 부착강도 특성

그림 5는 직접인장방식에 의한 부착강도 시험에서 시험체의

파괴 성상 모드를 나타낸 것이며, 표 7은 고온·저온 반복 시험에 따른 부착 강도 및 파괴형태를 나타낸 것이다.

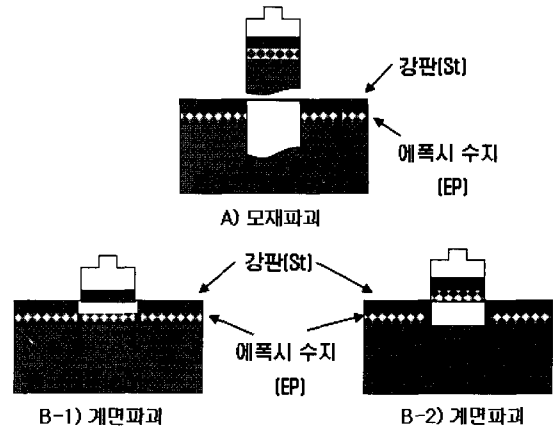


그림 5. 시험편의 파괴 성상 모드

표 7. 고온·저온 반복 시험에 따른 부착특성

구분	고강도 바탕 (W/B 25%)		일반강도 바탕 (W/C 60%)	
	부착 강도 (MPa)	파괴 형태	부착 강도 (MPa)	파괴 형태
20±0℃	2.08	B-1	1.86	B-1
20±20℃	1.59	B-1	1.13	B-1
20±40℃	1.74	B-1	0.96	B-1

온도변화가 없는 20℃을 기준으로 W/B 25%에서 2.08MPa, W/C 60%에서 1.86MPa의 부착강도를 나타내었으며, 온도변화에 따른 부착강도는 작아지는 것으로, 특히, W/C 60%인 일반강도 바탕일 때 더 크게 저하하였다.

파괴양상으로 모든 수준에서 강판과 에폭시 수지 사이의 접착 면에서 계면파괴가 일어났다. 즉, 강판의 경우 매끈한 강판면으로 인해 콘크리트와 에폭시 수지의 계면보다 빠르게 부착성이 상실되면서 박리된 것으로 사료된다.

3.2 건습변화 요인

3.2.1 변형특성

그림 6은 건습변화 요인으로 건조·습윤 반복 시험에 따른 바탕재 변화(W/B)별 각 재료들의 변형 특성을 나타낸 것이다.

4사이클까지 건조·습윤을 반복 한 결과 각 재료의 변형율 차이는 크게 나타나지 않았고, 또한, 바탕재의 강도 차이에서는 W/C 60%에서 W/B 25%보다 각 재료들 간 약간의 변형이 보이기는 했으나, 건습변화 작용만으로는 재료간의 박리에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.2.2 초음파 전파 속도

그림 7은 건조·습윤 반복 시험 전·후의 초음파 전파 속도를 비교한 것이다.

건조·습윤 반복 시험 결과는 모든 수준에서 유사한 경향으로서, 측정 전후 큰 차이가 없이 일정하게 나타났다.

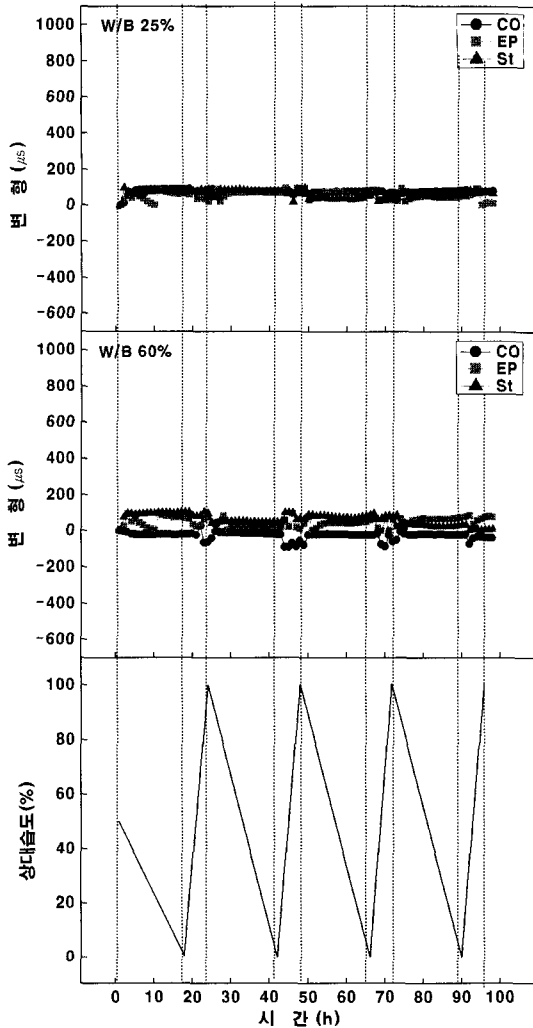


그림 6. 건조·습윤 반복 시험에 따른 재료의 변형 특성

3.2.3 부착강도 특성

표 8은 건조·습윤 반복 시험에 따른 부착 강도 및 파괴형태를 나타낸 것이다.

모든 수준에서 건조·습윤 반복에 의해 약간의 부착강도 저하는 나타났으나, 비교적 양호한 부착강도를 유지하는 것으로 분석된다.

파괴형태는 강판과 에폭시 수지간의 계면 파괴 형태로 나타

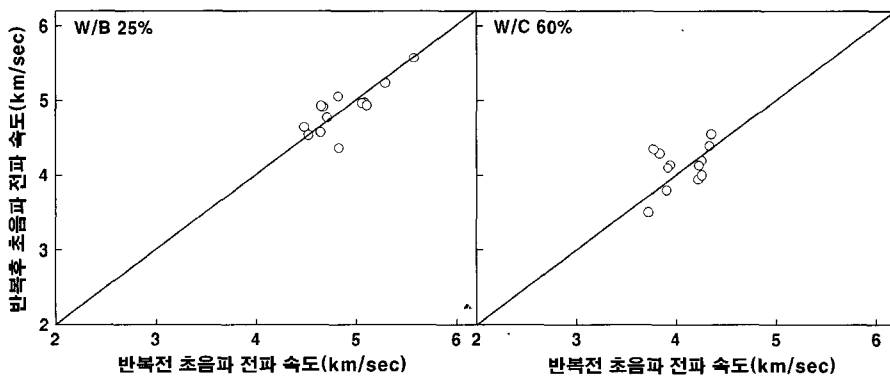


그림 7. 건조·습윤 반복 시험에 따른 초음파 전파 속도 비교

났다.

표 8. 건조·습윤 반복 시험에 따른 부착특성

종 류	고강도 바탕 (W/B 25%)		일반강도 바탕 (W/C 60%)	
	부착 강도 (MPa)	파괴 형태	부착 강도 (MPa)	파괴 형태
20±0℃	2.08	B-1	1.86	B-1
건습 반복 후	1.71	B-1	1.79	B-1

3.3 동결융해 요인

3.3.1 변형특성

그림 8은 바탕재 변화(W/B)별 동결융해 시험에 따른 각 재료들의 변형 특성을 나타낸 것이다.

W/B 25%의 경우 1사이클까지 바탕 콘크리트와 에폭시 수지 및 강판은 같은 거동을 보였으나, 2사이클 후부터 에폭시 수지는 기타 재료와 다른 변형 거동을 보이기 시작했다. 4사이클이 끝난 후 육안관찰에서는 콘크리트와 에폭시 수지, 에폭시 수지와 강판의 계면에서 자연 박리가 되어 있는 모습을 볼 수 있었다. W/C 60%인 바탕 콘크리트와 에폭시 수지의 경우는 1사이클부터 큰 변형폭을 보이고 있으며, 보강재인 강판은 초기부터 에폭시 수지와 떨어져 강판 자체의 변형을 보이고 있었다. 또한, 동결과정에서는 에폭시 수지 부분에서 팽창을 볼 수 있는데, 이는 에폭시 수지의 균열면으로 물이 침투하면서 동결에 의한 팽창이 일어난 것으로 사료되며, 이런 에폭시 수지의 큰 변형으로 인하여 에폭시 수지와 강판의 계면에서 박리 현상이 발생한 것으로 분석된다.

전체적으로 급격한 동결융해 작용에 의한 변위 게이지의 온도 쇼크 등의 실험 오차가 포함되어 있다고 생각되어지기는 하나 전체적인 경향은 선팽창계수가 작은 콘크리트와 보강재보다 선팽창계수가 큰 에폭시의 변형이 콘크리트나 보강재 사이의 어느 한쪽 계면에서 일부 열화를 먼저 받고 그 부분에서 수분의 침투로 인해 동결융해 작용을 받으면서 급격한 박리가 일어나는 것으로 분석된다.

3.3.2 초음파 전파 속도

그림 9는 동결융해 시험에 대한 동결융해 사이클 변화에 따른 초음파 전파 속도를 비교한 것이다.

동결융해 시험 결과는 바탕재의 강도와는 상관없이 사이클이 진행될수록 초음파 전파 속도가 느려지고 있는 것을 알 수 있었는데, 특히 1사이클까지는 모두 중앙선 상하로 퍼져 초음파 전파 속도의 변화가 거의 없었으나, 2사이클부터는 초음파 전파 속도가 느려졌다는 것을 알 수 있었다. 이는 고온·저온 반복 시험과 유사하게 콘크리트와 접착부분인 에폭시 수지와와의 변형을 차에 의해 계면 부분에서 박리가 발생되어 나타난 현상으로 분석된다.

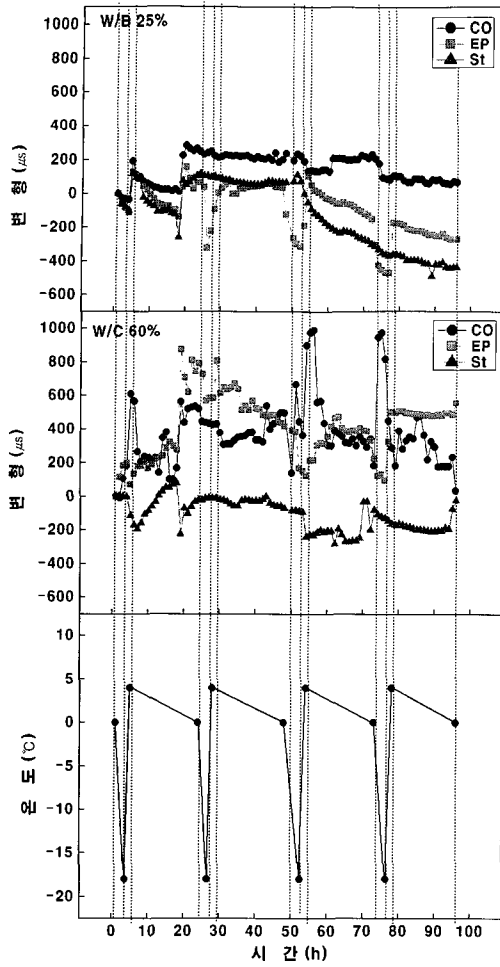


그림 8. 동결융해 시험에 따른 재료의 변형 특성

3.3.3 부착강도

표 9는 동결융해 시험에 따른 부착강도 및 파괴형태를 나타낸 것이다.

각 바탕재 조건별 4사이클까지의 동결융해 작용 반복 후에는 모두 지그 접착 후 시험전 과정에서 보강재가 박리되어 부착강도 값을 구하지 못하였다. 파괴양상은 W/B 25%, 60% 모두 계면파괴 형태를 나타내었다.

표 9. 동결융해 시험에 따른 부착특성

구분	고강도 바탕 (W/B 25%)		일반강도 바탕 (W/C 60%)	
	부착 강도 (MPa)	파괴 형태	부착 강도 (MPa)	파괴 형태
20±0°C	2.08	B-1	1.86	B-1
동결융해 후	실험 중 박리		접착 확인 중 박리	

4. 결 론

본 연구는 에폭시 수지 접착 강판 보강공법에서 온·습도 변화 및 동결융해 등 환경 변화에 따른 부착특성을 검토하여 박리의 원인을 규명함으로써 에폭시 수지에 의한 강판 접착 보강 공법의 적합성을 분석한 것으로 그 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 온도변화 요인에 따라서는 큰 선팽창계수를 갖는 에폭시 수지의 신축율 차이에 따른 전단응력으로 1사이클 이후부터 콘크리트 및 강판 표면에서 박리 현상을 의심 할 수

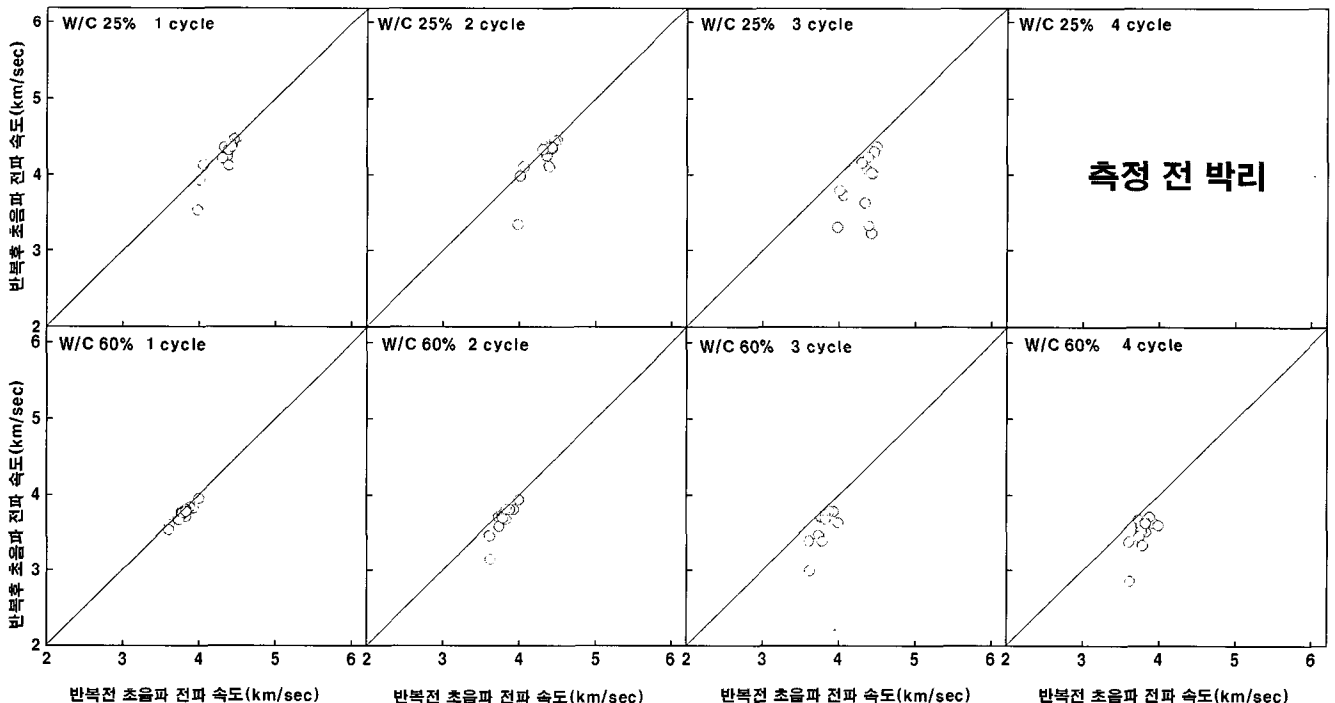


그림 9. 동결융해 시험에 따른 초음파 전파 속도 비교

- 있었고, 그에 따라 초음파 전파 속도도 측정 전보다 측정 후의 값이 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 부착강도의 시험 값도 온도변화 사이클 직전에 따라 작아지는 것으로 나타났는데, 파괴양상은 강판과 에폭시면의 계면파괴이었다.
- 2) 건습변화 요인으로서 변형 특성 및 초음파 전파 속도에서 4사이클까지 각 재료의 변형은 큰 차이로 나타나지 않았고 초음파 전파 속도 또한 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 3) 동결융해 시험의 결과는 에폭시 수지 부분에서 온도변화 요인, 건습 요인보다 큰 변형차를 보이며, 빠른 박리 현상이 나타나, 동결융해 작용을 받기 쉬운 지역에서는 강판으로 보강 후 짧은 기간에 동결융해의 영향으로 박리가 일어날 수 있을 것으로 사료된다. 초음파 전파 속도는 3 사이클 후로 진행해 갈수록 측정 전보다 측정 후의 초음파 전파 속도 값이 작아졌고, 부착강도는 모든 실험체에서 지그 부착 확인 중 박리되어 측정이 불가능하였으며, 파괴형태는 전 실험체가 강판과 에폭시수지 면에서 계면파괴 형태를 나타내었다.

13. 国森亮平, 若材齡コンクリートの熱膨脹係数に関する実験的研究, 콘크리트工学年次論文集, pp.1033~1038, 2000

참 고 문 헌

1. 변항용, 수로교의 안전, 바른미디어, pp.79~107, 2004. 1
2. 신광희, 섬유보강 공법과 강판보강 공법에 관한 특성 비교 연구, 동국대 산업기술 환경대학원, 2003. 2
3. 신영수, 홍기섭, 홍영균, 최완철, 에폭시 접착 강판으로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 보강길이 산정, 대한건축학회논문집, 제1권 제11호, pp.263~269, 1995. 11
4. 심종성, 한만엽, 김규선, 이인범, 강판으로 보강된 RC보의 조기파괴 제어에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회는 문집, 제10권 제1호, pp.585~591, 1998
5. 오병환, 조재열, 강동욱, 강판 휨보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동, 한국콘크리트학회지, 제9권 제5호, pp.233~244, 1997. 10
6. 오병환, 조재열, 차수원, 강판과 콘크리트 접착계면의 파괴거동 및 박리특성, 한국콘크리트학회논문집, 제14권 제1호, pp.126~135, 2002. 2
7. 오용복, 철근콘크리트 보의 외부 보강판 접착으로 인한 보강효과에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문, 1997. 8
8. 최현구, 오성영, 김상식, 강판 및 유리섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 전단보강효과에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표대회논문집, 제12권 제1호, pp.739~744, 2000
9. 한국 산업규격, 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지, KS F 4923, 2000
10. SK케미칼, SK탄소섬유시트공법 기술자료, 1998. 6
11. Basunbul, I.A., Sharif, A.M., Al-Sulaimani, G.J., and Baluch, M.H, Repair of Shear Cracked RC Beams with Bonded External Steel Plates, Proceedings of the ICSF 93, Fourth International Conference on Structural Failure and Retrofitting, Singapore, pp.629-634, 1993. July
12. M. Hussain, Alfarabi Sharif, I. A. Basunbul, G. J. Al-Sulaimani, Flexural Behavior of Pre-cracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by Steel Plates, ACI Structural Journal, Vol.92 No.1, pp.14~22, 1995. January-February