

RC구조물 접착 보수·보강 공법의 박리와 연관한 재료의 변형 거동 분석

Deformation Behavior Investigation of Materials by Debonding Failure in Adhesion and Repairing-strengthening Methods of RC Construction

한 천 구* 변 항 용** 박 용 규***
Han, Cheon-Goo Byun, Hang-Yong Park, Yong-Kyu

Abstract

This study investigates the deformation behavior, related to debonding failure, of adhesion and repairing-strengthening materials of RC construction. A strain-stress curve shows that when the stress of specimens reached the highest and then fails, the strain value of cement mortar is 2.0×10^{-3} , while concrete was indicated at around 1.3×10^{-3} , epoxy resins are 0.8×10^{-3} , polymer mortar is 2.5×10^{-3} , steel plate is 2.5×10^{-3} , and carbon bar was 9.1×10^{-3} , respectively. For a thermal expansion coefficient with temperature variation, those basic materials, cement mortar and concrete, exhibited around $10 \mu\epsilon/\text{C}$, but adhesive materials, such as epoxy resins and polymer mortar, were $41 \sim 54 \mu\epsilon/\text{C}$ and $-0.5 \sim 0.7 \mu\epsilon/\text{C}$, respectively. In the case of steel plate is similar to basic materials but carbon fiber is indicates at $-1.7 \mu\epsilon/\text{C}$, which is the lowest value. Especially, between basic and adhesive materials, the thermal expansion coefficient was highly different. Although the coefficient depends on the type of epoxy resins, it is clear that the epoxy resins are susceptible to be debonded in nature, when the difference of environmental temperature varies more than $20 \sim 35^\circ\text{C}$.

요 지

본 연구에서는 RC구조물의 접착 보수·보강 재료의 박리와 연관한 변형 거동에 대하여 검토하였다. 응력-변형곡선에서 최대응력 이후 항복을 일으킬 수 있는 변형량은 바탕재인 시멘트 모르타의 경우 2.0×10^{-3} , 콘크리트는 1.3×10^{-3} 전후이고, 접착제인 에폭시수지 0.8×10^{-3} , 폴리머 시멘트 모르타 2.5×10^{-3} 이며, 보강재인 강판과 탄소봉은 2.5 와 9.1×10^{-3} 정도인 것으로 밝혀졌다. 온도변화에 따른 선팽창계수는 바탕재인 시멘트 모르타 및 콘크리트의 경우 $10 \mu\epsilon/\text{C}$ 전후인데 비하여, 접착제인 에폭시 수지는 $41 \sim 54 \mu\epsilon/\text{C}$, 폴리머 시멘트 모르타는 $-0.5 \sim 0.7 \mu\epsilon/\text{C}$, 보강재인 강판은 바탕재료와 비슷하지만, 탄소섬유는 $-1.7 \mu\epsilon/\text{C}$ 로 제일 작은 값이었다. 특히 바탕재료인 콘크리트와 에폭시수지 접착제간에는 온도변화에 따른 선팽창계수 차이가 크게 발생하였는데, 에폭시 수지 종류에 따라 약간의 차이는 있지만, $20 \sim 35^\circ\text{C}$ 이상의 온도차가 발생하는 조건이면 에폭시수지 접착제는 콘크리트 접착면에서 자연적으로 박리 할 수도 있는 것으로 밝혀졌다.

Keywords : Thermal expansion coefficients, Elasticity modules, Carbon fiber, Steel plate, Epoxy resin

핵심 용어 : 선팽창계수, 탄성계수, 탄소섬유, 강판, 에폭시수지

* 정희원, 청주대학교 교수

** 정희원, (주) 고려 E&C 대표, 청주대학교 박사과정

*** 정희원, 청주대학교 석사과정

E-mail : cghan@cju.ac.kr 043-229-8480

•본 논문에 대한 토의를 2007년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

구조물의 유지관리에 대한 사회적 관심이 고조되기 이전인 90년대 중반까지, 철근콘크리트조 구조물의 보강에 사용된 재료는 주로 철근콘크리트나 강재였으며, 보강공법으로는 내진벽 철골브레이스의 증설 또는 단면증설 등이 주를 이루었다. 그러나 이와 같은 보강공법은 자중증가, 외관 및 시공성저하 등의 문제점 때문에, 90년대 말부터는 에폭시 수지를 접착제로 사용하는 탄소섬유보강공법 및 강판보강공법이 가장 많이 사용되어지고 왔으며, 현재 사용되어지는 보수, 보강공법은 Table 1과 같다.

그런데, 이와 같은 에폭시 접착에 의한 공법은 기존의 공법에 비하여 시공성, 경제성 및 유지관리측면에서 우수한 것으로 알려져 왔지만, 국내에서는 이에 관한 연구가 적은 상태에서 주로 기능공들의 경험에 의존하여 왔던 관계로, 현재에 이르러 하나둘씩 그 문제점이 나타나고 있는 실정이다.

특히, 위와 같은 공법의 적용에 있어 문제점은 Photo 1에서와 같이 보수·보강 재료와 구조체가 분리되어 보강 의미가 상실되는 것⁽¹⁾으로, 이러한 박리의 원인에는 에폭시수지와 콘크리트의 물성(탄성계수, 선팽창계수 등) 차이에 의한 것으로 예상되어진다.

그러므로 본 연구에서는 RC구조물의 접착 보수·보강과 관련하여 바탕재료인 시멘트 모르타르와 콘크리트, 접착제인 에폭시 수지와 폴리머 시멘트 모르타르 및 보강재인 강판과 탄소섬유에 대하여 그 물성인 탄성계수, 선팽창계수 및 건조수축 길이변화율 등의 변형거동 차이를 분석하므로써, 보수·보강 구성체들의 재료적 특성 측면에서 그 박리의 원인을 구명하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 Table 1, 2와 같다. 먼저 실험계획으로써 바탕재료 중 시멘트 모르타르는 배합비 1:2, 1:3, 1:4의 3수준에 대하여 각각 목표 플로우 값을 120, 150, 180mm의 3수준씩 총 9배치를 실험계획 하였고, 콘크리트는 W/C 50, 60,

70% 3수준에 대하여 각각 목표 슬럼프를 80, 150, 210mm 3수준으로 변화시켜 총 9배치를 실험계획 하였다. 접착제로 쓰이는 에폭시수지는 용도별로 탄소섬유용, 균열주입용, 케미컬경착용의 3수준으로 하였으며, 폴리머 시멘트 모르타르는 기존의 제품 중 3가지를 선택하였다. 보강재는 강판(이하 St)과 탄소봉(이하 Ca)의 2수준으로 실험계획 하였다.

Table 1 토목콘크리트구조물에 적용되는 주요한 보수보강공법

| | | 프리스트레스트도입공법 | 외부 케이블공법 | |
|------------|----------|-------------|--------------|--|
| 보강공법 | 접착공법 | 강판접착공법 | | |
| | | FRP접착공법 | | |
| | 감싸는공법 | 강판 감싸는 공법 | | |
| | | FRP 감싸는 공법 | | |
| | | 콘크리트 감싸는 공법 | | |
| | | | 단면증가(덧붙이기)공법 | |
| | | 증설공법 | | |
| | | 치환공법 | | |
| 균열보수공법 | 함침재 도포공법 | | | |
| | 충진공법 | | | |
| | 주입공법 | 유기계주입공법 | | |
| | | 무기계주입공법 | | |
| 표면도포공법 | | | | |
| 전기화학적 보수공법 | 전착공법 | 금수시공방식 | | |
| | | 수중시공방식 | | |
| | 재 알칼리화공법 | | 접착방식 | |
| | 탈염공법 | | 관널부착방식 | |
| | | | 화이버방식 | |
| | 전기방식공법 | 유전양극방식 | 침상양극방식 | |
| | | 외부전원방식 | 면상양극방식 | |
| | 단면수복공법 | 충진공법 | 프리팩트공법 | |
| | | | 투입공법 | |
| | | | 주입공법 | |
| 뿔칠공법 | | 습식뿔칠공법 | | |
| | | 건식뿔칠공법 | | |
| | | 미장공법 | | |
| 표면보호공법 | 표면함침공법 | 실란계함침공법 | | |
| | | 케이산염계함침공법 | | |
| | | 그 외의 함침공법 | | |
| | 표면피복공법 | 유기계도막공법 | | |
| | | 유기계시트공법 | | |
| | | 무기계도포공법 | | |
| | | 무기계매쉬공법 | | |
| 매설거푸집공법 | | | | |

Table 2 실험계획

| 실험체 종류 | | 배합사항 | | 실험방법 |
|--------|-------------|-----------|-------------------------------|--|
| 바탕재 | 일반 모르터 | 배합비(C:S) | 1:2, 1:3, 1:4 | |
| | | 목표플로우(mm) | 120, 150, 180 | |
| | 콘크리트 | W/C(%) | 50, 60, 70 | |
| | | 목표슬럼프(mm) | 80, 150, 210 | |
| 접착재 | 에폭시 | 액상형 | 2액형 | 탄소섬유용 (EA) ·탄성계수 ·선팽창계수 ·건조수축 길이변화율 |
| | | | 1액형 | 케미컬 정착용(EC) |
| | 폴리머 시멘트 모르터 | 기존 제품 | A제품(PA) B제품(PB) C제품(PC) | |
| | | | 보강재 | 강판, 탄소봉 |

· 시멘트 모르터의 W/C는 각각의 목표 플로우를 만족하는 W/C를 적용하였음.

실험사항으로는 경화상태에서 탄성계수와 선팽창계수 및 건조수축 길이변화율을 측정하도록 하였다.

2.2 사용재료

바탕재의 구성 재료로서 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3,483cm²/g)를 사용하였고, 잔골재는 강모래(밀도: 2.51g/cm³, 조립률: 2.90), 굵은 골재는 25mm 부순 골재(밀도: 2.63g/cm³, 조립률: 7.04)를 사용하였다. 혼화제로는 AE제 및 SP제는 빈줄계 및 나프탈렌계를 사용하였다.

에폭시수지는 국내 J사의 SSG-17(밀도: 1.07g/cm³, 점도: 108cps), SSG-660P(밀도: 1.12g/cm³, 점도: 860cps), SSG-610R(밀도: 1.11g/cm³, 점도: 6 100cps)을 사용하였고, 폴리머 모르터는 M사(압축강도: 64.2MPa, 부착강도: 2.95MPa), S사(압축강도: 56.1MPa, 부착강도: 3MPa) 및 R사의 제품(압축강도: 40MPa, 부착강도: 1.5MPa)을 사용하였다.

보강재로 강판은 두께 10mm의 SS400강판을 사용하였고, 탄소섬유는 S사의 탄소봉제품(밀도: 1.80g/cm³, 인장강도: 590MPa)을 사용하였다.



탄소섬유의 박리 (손쉽게 떨어지는 탄소섬유) 강판의 박리 (박리된 강판에 자가 삽입된 모습)
Photo 1 탄소섬유와 강판의 박리 사진

2.3 실험방법

실험방법에서 바탕재로 사용한 시멘트 모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 방법으로 실시하였고, 콘크리트는 강제식 팬 타입 믹서를 사용하여 KS F 2425에 의하여 혼합하였으며, 에폭시수지의 제조 및 폴리머 시멘트 모르터의 혼합은 각 회사 제품의 시방서에 의거하여 실시하였다.

경화 상태의 실험으로 탄성계수는 KS F 2438, KS B 0802에 의거 실시하였고, 선팽창계수는 KS F 2608, 콘크리트와 모르터의 건조수축 길이변화는 KS F 2424규정의 다이얼 게이지법에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 응력-변형 곡선

Fig. 1은 각 재료들의 사용조건하에서의 거동을 분석하기 위하여 응력-변형 곡선을 나타낸 것이다.

바탕재로서 모르터의 경우 최대응력시의 변형율은 2.0×10⁻³전후로 배합비가 증가할수록 변형율이 커져서 인성적인 특성으로 나타났으며, 플로우별 차이는 플로우치가 커질수록 최대강도가 작아지는 것으로 나타났으나, 그 차이는 미소하였다. 콘크리트의 경우는 최대응력시의 변형도가 1.3×10⁻³전후로 W/C가 커질수록 최대강도가 작게 나타났고, 슬럼프치 별로는 차이가 작았다.

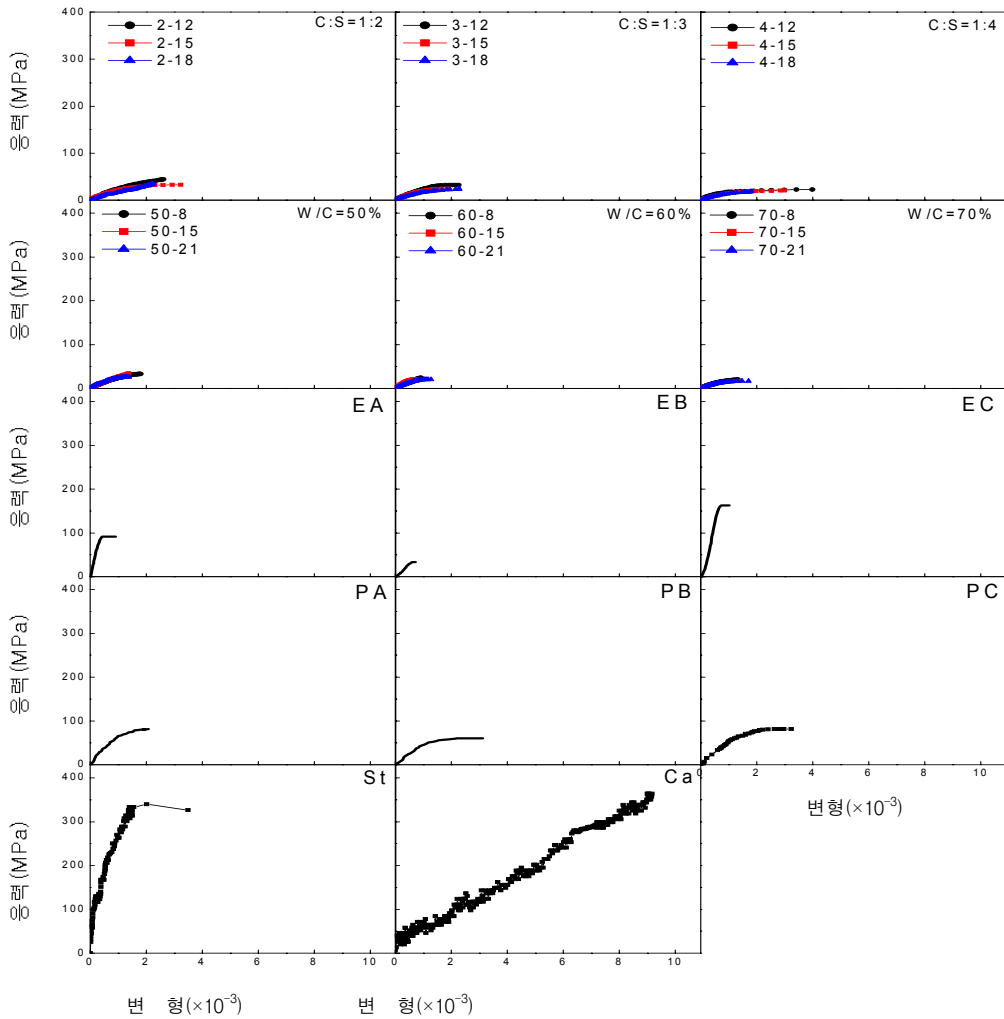


Fig. 1 각 재료들의 응력-변형 곡선

또한, 집착제로서 에폭시수지의 경우는 최대응력시의 변형도가 0.8×10^{-3} 전후로 모르타 및 콘크리트 보다 작은 변형율을 보였으며, 폴리머 시멘트 모르타의 경우는 제품별로 최대 응력시의 변형도가 2.5×10^{-3} 전후로 일반 모르타보다 약간 큰 값으로 나타났다. 강관과 탄소봉의 최대 응력시의 변형율은 2.5×10^{-3} 및 9.1×10^{-3} 으로 변형이 매우 큰 값을 알 수 있었다.

이것으로 응력에 대한 바탕재, 집착제 및 보강재 간의 변형율 및 최대 변형량에는 큰 차이가 있는 것을 알 수 있었다.

3.2 탄성계수

Table 3은 본 실험에서 대상으로 하는 바탕재, 집착제 및 보수·보강재의 탄성계수 실험결과를 나타낸 것이다.

모르타의 경우는 15~26G Pa정도로 나타났는데 배합비 별로는 1:2가 가장 큰 탄성계수를 나타내었고, 빈배합으로 갈수록 탄성계수가 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 플로우치 별로는 플로우치가 커질수록 탄성계수는 작아지는 것으로 나타났는데, 이는 플로우치

Table 3 배합 사항

| 기호 | W/C (%) | W (kg/m ³) | S/a (%) | AE/C (%) | SP/C (%) | 단위질량 (kg/m ³) | | | |
|--------------------------|-----------------|------------------------|---------|----------|----------|---------------------------|--------|------|---|
| | | | | | | C | S | G | |
| 2-12 | 35 | 233 | 100 | 0 | 0 | 686 | 1373 | 0 | |
| 2-15 | 38 | 254 | | | | 668 | 1336 | | |
| 2-18 | 40 | 263 | | | | 659 | 1318 | | |
| 3-12 | 45 | 229 | | | | 509 | 1527 | | |
| 3-15 | 49 | 243 | | | | 500 | 1500 | | |
| 3-18 | 56 | 270 | | | | 482 | 1446 | | |
| 4-12 | 59 | 236 | | | | 400 | 1600 | | |
| 4-15 | 67 | 259 | | | | 387 | 1548 | | |
| 4-18 | 75 | 281 | | | | 375 | 1502 | | |
| 50-8 | 50 | 175 | | | | 43 | 0.0025 | | 0 |
| 50-15 | | 180 | 44 | 0.1 | 360 | 741 | | 988 | |
| 50-21 | | 185 | 45 | 0.2 | 370 | 748 | | 958 | |
| 60-8 | 60 | 175 | 44 | 0 | 292 | 771 | | 1028 | |
| 60-15 | | 180 | 45 | 0.1 | 300 | 780 | | 998 | |
| 60-21 | | 185 | 46 | 0.2 | 308 | 788 | | 969 | |
| 70-8 | 70 | 175 | 45 | 0 | 250 | 804 | | 1029 | |
| 70-15 | | 180 | 46 | 0.1 | 257 | 813 | | 1000 | |
| 70-21 | | 185 | 47 | 0.2 | 264 | 822 | | 971 | |
| EA, EB, EC PA, PB, PC | 각 회사의 시방 배합에 따름 | | | | | | | | |

* 기호 중 시멘트 모르타의 경우 2-12는 모르타 배합비 1:2-목표 플로우 120mm이고, 콘크리트의 경우 50-8은 물시멘트비 50%-목표슬럼프 80mm를 의미함.

증가에 따른 W/C의 증가에 의한 것으로 분석된다. 콘크리트의 탄성계수는 18~27GPa정도로 시멘트 모르타보다는 약간 크게 나타났는데, W/C가 작아질수록 고강도화에 기인하여 커지는 것으로 나타났고, 목표 슬럼프치 별로는 슬럼프가 클수록 잔골재율을 증가시켜 배합 설계함에 따라 작아지는 것으로 분석된다.

에폭시수지의 경우 탄성계수는 45~220GPa로 제품의 사용용도에 따라서 매우 큰 차이를 나타내었다. 폴리머 시멘트 모르타는 제품별로 약간의 차이는 있었으나 전반적으로는 시멘트 모르타나 콘크리트보다는 큰 값을 나타내었다. 강관은 바탕재보다 약 10배정도의 값으로 나타났고, 탄소봉도 콘크리트보다는 1.5배정도 높은 탄성계수 값으로 나타났다.

3.3 선풍창계수

온도 변화에 따른 바탕재, 접착제 및 보강재의 선풍창계수 변화를 측정하기 위해서 본 실험에서는 수중에서의 가열에 의한 방법을 채용하였다. Fig. 2는 실험

조의 온도 상승에 따른 모르타 공시체의 온도 상승을 일례로 나타낸 것이다.

國森 등⁽²⁾에 의하면 실험조의 온도 상승에 따라 공시체 중심부의 온도도 거의 일치하게 상승하고 있다고 보고하고 있는데, 본 실험 결과에서도 이와 유사한 경향으로 나타났다.

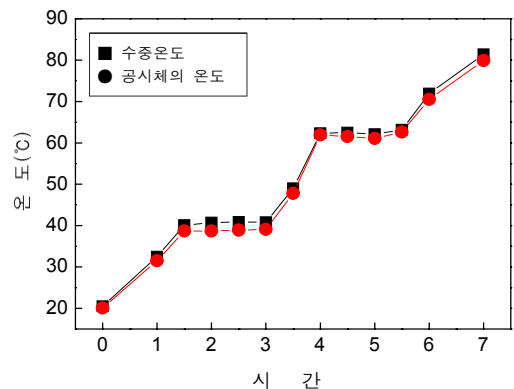


Fig. 2 공시체의 온도상승

Table 4는 바탕재, 접착제 및 보강재의 선폽창계수를 나타낸 것이고, Fig. 3은 각 재료들의 온도변화에 따른 선폽창변형량을 나타낸 것이다.

선폽창계수는 바탕재로 시멘트 모르타(10~13 $\mu\epsilon/\text{C}$)와 콘크리트(9~11 $\mu\epsilon/\text{C}$)는 유사한 값으로 나타났다. 접착제인 에폭시수지는 41~54 $\mu\epsilon/\text{C}$ 로 시멘트 모르타나 콘크리트보다 온도 변화에 의하여 약 4~5 배정도 큰 선폽창변형을 일으키는 것을 알 수 있었고, 폴리머 시멘트 모르타는 -0.5~0.7로 온도변화에 따른 변동이 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 4 각 재료의 탄성계수

| 시멘트 모르타 | | 콘크리트 | | 에폭시 및 보강재 | |
|---------|---------|-------|---------|-----------|--------|
| 기호 | Em(GPa) | 기호 | Ec(GPa) | 기호 | E(GPa) |
| 2-12 | 26.2 | 50-8 | 27.0 | EA | 172 |
| 2-15 | 23.2 | 50-15 | 26.0 | EB | 45.3 |
| 2-18 | 20.4 | 50-21 | 24.0 | EC | 220 |
| 3-12 | 24.9 | 60-8 | 26.9 | PA | 81.6 |
| 3-15 | 23.4 | 60-15 | 23.5 | PB | 51.5 |
| 3-18 | 18.2 | 60-21 | 20.8 | PC | 51.3 |
| 4-12 | 21.1 | 70-8 | 20.7 | St | 338 |
| 4-15 | 17.1 | 70-15 | 19.8 | Ca | 34.1 |
| 4-18 | 15.4 | 70-21 | 18.0 | | |

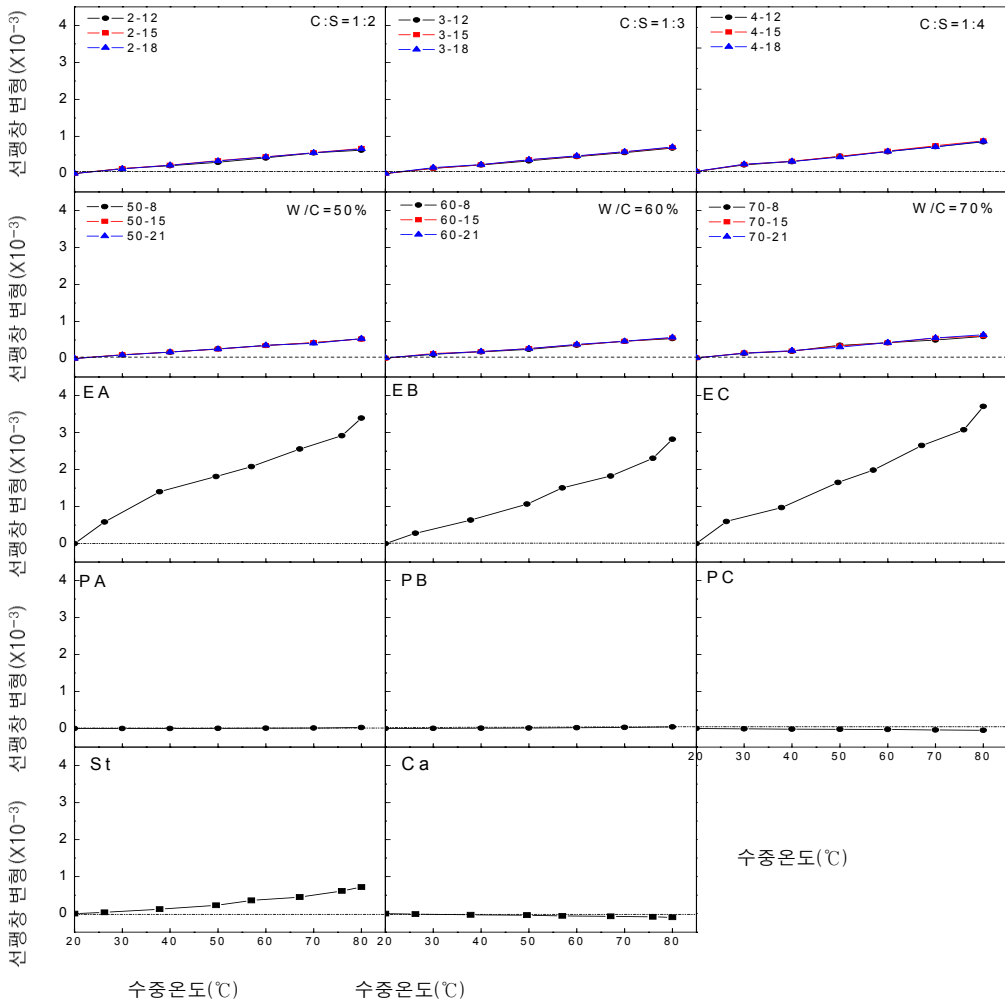


Fig. 3 각 재료들의 선폽창변형-수온곡선

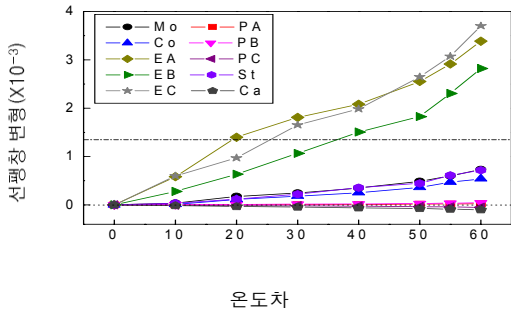


Fig. 4 온도차에 따른 선폽창변형거동 비교

보강재인 강판의 경우는 $11.9\mu\epsilon/\text{C}$ 로 바탕재와 유사한 값으로 나타났지만 탄소봉의 경우는 $-1.7\mu\epsilon/\text{C}$ 로 온도가 증가할수록 바탕재 및 접착제인 에폭시수지와의 정반대로 수축을 하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 20°C를 기준으로 한 온도차에 따른 각 재료들의 선폽창변형 거동을 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 구조체, 접착제 및 보강재의 선폽창계수는 온도의 증가에 따라 큰 차이를 나타내었다. 이것은 에폭시수지 접착 보수·보강재들이 주위 온도환경에 영향을 받을 경우는 선폽창계수의 차이로 인하여 구조체와 접착제간에 박리가 발생할 수 있

음을 시사한다.

즉, Fig. 1에서 알 수 있듯이 W/C의 변화에 따른 콘크리트의 최대응력까지의 최대 변형량은 약 1.3×10^{-3} 전후의 변형량을 나타내고 있다. 한편, 접착제인 에폭시수지의 경우는 제품의 용도에 따라서 서로 차이가 있지만, EA~EC의 경우 Fig. 4에서 온도차가 20~35°C 이상에서는 콘크리트의 최대변형량을 초과하고 있다. 폴리머 시멘트 모르타의 경우는 온도변화에 따라서 거의 변화가 없기 때문에 오히려 구조체의 변형과 차이가 적은 거동을 하므로 상온조건하에서는 박리의 가능성이 적을 것으로 사료된다.

3.4 건조수축 길이변화

Fig. 5~6은 시멘트 모르타와 콘크리트의 배합변수별 재령 180일까지의 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이고, Fig. 7은 동일한 요령으로 폴리머 시멘트 모르타의 길이 변화율을 나타낸 것이다. 모르타는 그림에 나타난 것과 같이 $1.0 \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 으로서 배합비가 증가할수록 즉 빈배합일수록 크게 나타났고 또한, 각 모르타 배합비에서 플로우별로는 플로우치가 클수록 크게 나타났다. 이것은 단위수량 증가에 기인한 것으로 사료된다.

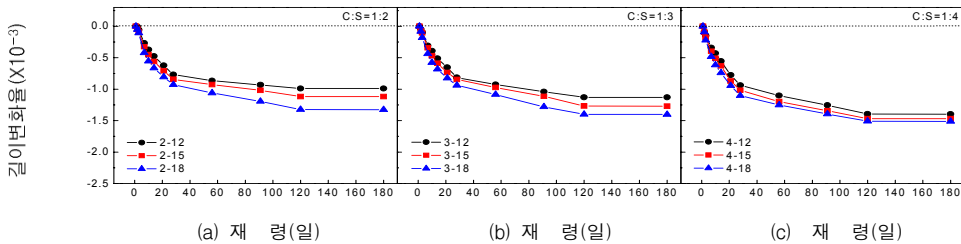


Fig. 5 모르타의 길이변화

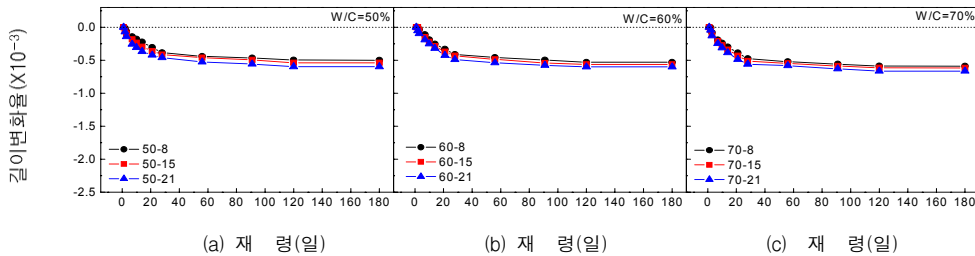


Fig. 6 콘크리트의 길이변화

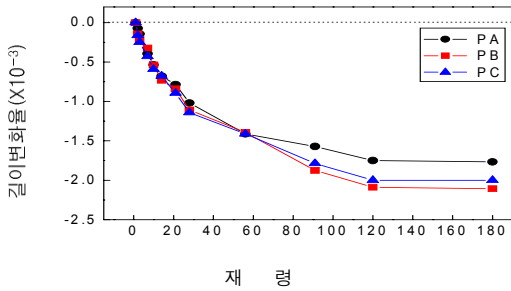


Fig. 7 폴리머 모르타의 길이변화

콘크리트는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 $0.5 \sim 0.7 \times 10^{-3}$ 으로서 W/C가 커질수록 즉 빈배합일수록 크고, 목포 슬럼프별로는 슬럼프치가 클수록 크게 나타났다. 이 또한 단위수량 증가에 기인한 것으로 사료된다.

폴리머 시멘트 모르타의 경우는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 제품별로는 큰 차이 없이 $1.7 \sim 2.1 \times 10^{-3}$ 으로서 콘크리트나 모르타보다 1.5~4배 크게 나타나고 있는데, 이는 수축이 더 이상 없다고 생각되어지는 바탕 콘크리트에 단면복구재로서 사용되고 있는 폴리머 시멘트 모르타가 더 많은 수축을 함으로서 건습이 격심한 조건 및 온도변화가 큰 자연환경에서는 오히려 접착능력을 잃고 수축과괴를 일으킬 수 있는 것으로 분석된다.

3.5 박리 원인 분석

최근의 경우에도 대부분의 보수·보강 실무에서는 성능 저하된 RC구조물의 보수·보강공법으로 탄소섬유 및 강판 보강재를 에폭시 수지로 접착하는 공법이 흔히 채택되고 있다. 그러나 이와 같은 공법은 자연환경조건하에서 장시간 경과된 경우에는 Photo 1과 같이 박리현상을 일으켜 그 기능이 상실되는 경우가 있어 문제가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 에폭시 수지 접착공법의 바탕재, 접착제 및 보강재에 대하여 응력에 따른 변형 관계(탄성계수), 온도변화에 따르는 선팅창길이 변형 관계(선팅창계수) 및 건조에 따르는 수축길이 변형 관계(건조수축율)를 분석하였다.

즉, RC구조물의 경우 사용 환경조건에 따라서 바탕재가 건조수축 된 상태에서 보강재를 접착제로 부착하

Table 5 각 재료의 선팅창계수

| 시멘트 모르타 | | 콘크리트 | | 에폭시 및 보강재 | |
|---------|--|-------|--|-----------|--|
| 기호 | 선팅창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) | 기호 | 선팅창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) | 기호 | 선팅창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) |
| 2-12 | 10.5 | 50-8 | 8.9 | EA | 50.9 |
| 2-15 | 11.3 | 50-15 | 8.7 | EB | 41.9 |
| 2-18 | 11.1 | 50-21 | 9.0 | EC | 53.3 |
| 3-12 | 11.4 | 60-8 | 9.3 | PA | 0.4 |
| 3-15 | 11.7 | 60-15 | 9.0 | PB | 0.7 |
| 3-18 | 11.9 | 60-21 | 9.4 | PC | -0.5 |
| 4-12 | 12.0 | 70-8 | 9.9 | St | 11.9 |
| 4-15 | 12.4 | 70-15 | 10.2 | Ca | -1.7 |
| 4-18 | 12.2 | 70-21 | 10.7 | | |

게 되면 접착제가 건조 혹은 경화수축으로 수축되어 모재와 보강재 간에 어느 정도의 수축응력이 존재한다. 이 이후 보강된 RC구조체가 자연환경에 놓이게 되면 부등적인 건습변화 및 온도변화조건에서 바탕재와 접착제 및 보강재간에는 커다란 변형량 차이(ϵ_n)가 발생하는데 (일예로, 온도 $20 \sim 35^\circ\text{C}$ 변화), 이 변형량이 바탕재의 응력·변형곡선에서 최대 응력(σ_m)에 따른 최대변형량(ϵ_m)을 초과하게 되면 바탕재에서 보강재가 박리되는 것으로 분석된다.

4. 결론

본 연구에서는 RC 구조물의 에폭시 접착 보수·보강 공법의 경우, 주위 환경에 의한 변형 거동에 영향을 받을 경우 발생할 수 있는 박리 현상에 대한 원인을 구명하기 위하여 각 재료의 변형거동을 실험한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 응력·변형곡선에서 최대응력 이후 항복을 일으킬 수 있는 변형량은 바탕재인 시멘트 모르타의 경우 2.0×10^{-3} , 콘크리트의 경우 1.3×10^{-3} 전후이고, 접착제인 에폭시수지는 0.8×10^{-3} , 폴리머 시멘트 모르타는 2.5×10^{-3} 전후이며, 보강재인 강판과 탄소섬유는 2.5와 9.1×10^{-3} 정도인 것으로 밝혀졌다.
- 2) 온도변화에 따른 선팅창계수는 바탕재인 시멘트 모르타 및 콘크리트의 경우 $10 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 전후인데 비하여, 접착제인 에폭시 수지는 $41 \sim 54 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로서 대략 4~5배 크고, 폴리머 시멘트 모르타는 $-0.5 \sim 0.7 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로서 절반 이하로 작으며, 보강재인 강판

은 비슷하고, 탄소섬유는 $-1.7\mu\text{e}/\text{C}$ 로 제일 작은 값이었다.

- 3) RC구조물 접착 보수·보강공법에서 특히 바탕재와 에폭시수지 접착계간에는 온도변화에 따른 선팅창계수 차이가 크게 발생하였는데, 에폭시 수지 종류에 따라 약간의 차이는 있지만, $20\sim 35^\circ\text{C}$ 이상의 온도차가 발생하는 조건이면 바탕재의 최대 응력이 후 항복변형량에 해당하는 변형량이 발생하여 에폭시수지 접착재가 콘크리트 바탕재에서 자연적으로 박리 할 수 있는 것으로 밝혀졌다.
- 4) 건조수축 거동으로 콘크리트에 비하여 모르타는 2배정도 큰값이었고, 폴리머 시멘트 모르타는 3~4배 큰값 이었다.

종합적으로 콘크리트의 보수·보강의 경우 건조된 콘크리트나 모르타 바탕에 폴리머 시멘트 모르타 및 에폭시 수지로 보강재를 보수·보강 하게 되면 온도변화에 따른 선팅창을 변화와 폴리머 모르타의 건조 및 경화수축 변형량이 콘크리트의 최대응력 이후 항복변형량에 해당하는 변형량 이상이 발생하게 되면 결국 콘크리트 바탕재에서 보강재가 자연적으로 박리 할 수 있으므로 사용상에는 각별한 주의가 요구되는 것으로 밝혀졌다.

참고문헌

1. 변항용, "수로교의 안전", 바른미디어, 2004. 1, pp. 79-104.
2. 신성우, 이한승, "탄소섬유수트 보강공법에 사용되는 Epoxy 수지의 특성 및 국내의 동향", 구조물진단학회지, Vol. 2. No. 3, 1998. 7, pp. 24-36.
3. 김주식, 윤광준, "탄소섬유 복합재료의 온도변화에 대한 열팽창계수 특성 변화 규명", 한국복합재료학회지, 제12권 6호, 1999. 12, pp. 1-7.
4. 김용암, "탄소채 복합재료", 물리학과 첨단기술, 2003. 3, pp. 31-35.
5. 한국 산업규격, "콘크리트 구조물 보수용 에폭시수지", KS F 4923, 2000.
6. 유영찬, 최기선, 김공환, "RC부재의 휨 보강용 탄소섬유수트의 부분감소계수 산정을 위한 변수 연구", 한국건축학회논문집 구조계, 제20권 7호, 2004. 7, pp. 21-27.
7. 오용복, 정일영, 권영웅, 신영수, "균열이 있는 철근

- 콘크리트 보의 에폭시 보수효과에 관한 연구", 한국건축학회 기술발표논문집, 제17권 1호, 1997. 4, pp. 513-517.
8. 대한건축학회, 콘크리트 구조물의 보수·보강, 1997.
9. 이민석, 박승진, "철근 콘크리트조 건축물의 내구성 조사·진단 및 보수지침(안)·동해설", 도서출판 건설도서, 1988. 1.
10. 반호용, 한천구, 양성환, "에폭시 모르타 및 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제6권 5호, 1990. 10, pp. 261-268.
11. 한천구, 한민철, "콘크리트의 배합요인이 건조수축에 미치는 영향", 대한건축학회논문집 구조계, 제19권 2호, 2003. 2, pp. 67-74.
12. 상영엔지니어링(주), 구조물 유지관리 연구소, "구조물 보수·보강 사례집".
13. SK케미칼, "SK탄소섬유수트공법 기술자료", 1998.
14. 조영국, 전우성, 소양집, "養生條件이 폴리머 시멘트 모르타르의 強度發現에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究", 대한건축학회 논문집, 제14권 3호, 1998. 3.
15. 오용복, 정일영, 권영웅, 신영수, "균열이 있는 철근콘크리트보의 에폭시 보수효과에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 1997. 4, pp. 513-517.
16. 김무한, 이종열, 권영진, "표면보호용 보수재료로서 폴리머 시멘트 복합체 특성 및 활용기술", 한국구조물진단학회, 제2권 3호, 1998. 7, pp. 49-58.
17. 이재용, 김영수, "단면복구재로서 폴리머 시멘트 모르타의 성능평가", 대한콘크리트학회 논문집 구조계, 제21권 4호, 2005. 4, pp. 157-164.
18. 이찬영, 심재원, 김홍배, "콘크리트 균열 보수용 에폭시 시의 시공조건에 따른 성능", 한국 콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 제16권 2호, 2004. 11, pp. 813-816.
19. 國森 亮平, 六腳 惠哲, 森本 薄昭, "若材齡コンクリートの熱膨脹係數に關する實驗的研究", 콘크리트工學年次論文集, 2000. 2, pp. 1033-1038.
20. 國森亮平 ほか, "若材齡コンクリートの熱膨脹係數に關する實驗的研究", 콘크리트工學年次論文集, 2000. 2, pp. 1033-1038.
21. 川上英男, "コンクリートの彈性係數に及ぼす骨材と界層の影響", 콘크리트工學年次論文集, 2000. 2, pp. 529-534.
22. Yoshi Kakuta, Tamon Ueda, "Strengthening in shear of reinforced concrete members by FRP sheet", Intrnational Conference on Maintenance & Durability of Concrete Structures March 4-6, 1997.

-
23. Alfarabi Sharif, G. J. Al-Sulaimani, I. A. Basunbul, M. H. Baluch, B.N. Ghaleb, "Strengthened of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Paltres", ACI, Mar-Apr. 1994.
24. R. Jones, R. N. Swamy, J. Bloxham, and A. Bouderbalah, "Composite Behavior of Concrete Beams with Epoxy Bonded External Reinforcement", International Journal of Cement Composites and Ligthweighth Concrete, Vol. 2 No. 2, 1980, pp. 91-117.
25. Norris, T., Saadatmanesh, H. and Ehasani, M. R. "Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets", Journal of Structural Engineering, ASCE, July 1997, pp. 903-911.
26. Mohamed R. Esani. "Reinforced Concrete Beams Strengthened with GFRP I - Experimental Study", ASCE Journal of Structural Engineering Vol. 117 No. 11, Nov. 1991, pp. 3417-3433.

(접수일자 : 2006년 8월 2일)