

수축저감제와 팽창제를 병용 치환한 콘크리트의 수축 특성

Properties of Shrinkage in Concrete Incorporating Shrinkage Reducing Agent and Expansive Additive

김 광 화* 문 화 롱* 심 영 태** 이 병 상*** 정 용 회**** 한 천 구*****
 Jin, Guang-Hua Wen, Xue-Long Sim, Young-Tae Lee, Byung-Sang Jung, Yong-Hee Han, Cheon-Goo

Abstract

This study is to investigate the engineering and shrinkage properties of concrete incorporating shrinkage reducing agent(SRA) and expansive additive(EA) in order to reduce shrinkage of concrete. According to results, as for the properties of fresh concrete, increase in SRA and EA content leads to reduce the fluidity but to increase the air content, and as for setting time, there is little difference. For strength properties, it decreased with an increase in SRA dosage and increased up to 5% of EA content. For the properties of drying shrinkage, it shows decline tendency with an increase in SRA and EA content respectively. It also reduces significantly with the combination of SRA-EA systems due to the combined effect of the admixture. In the scope of this paper, it is found that the use of SRA with 0.5% and EA with 5% has optimum effects on the various properties of concrete. And under the combination of SRA and EA, it can reduce drying shrinkage about 37%.

키 워 드 : 공학적 특성, 수축, 수축저감제, 팽창제

Keywords : Engineering Properties, Shrinkage, Shrinkage Reducing Agent, Expansive Additive

1. 서 론

콘크리트 구조물의 안전성, 내구성, 미관 등에 큰 영향을 주는 콘크리트의 균열은 90년대 이후 심각한 사회적인 문제로 대두되었다. 이는 콘크리트 구조의 설계, 재료, 시공, 유지관리의 전과정에서 균열제어에 대한 제반기술이 확립되지 않았고, 균열발생후 균열의 조사, 평가 및 보수보강에 관한 기술이 미비하였기 때문이다.¹⁾

현재는 균열의 보수보강 등에 관하여 많은 새로운 방법이 개발되고 있으나, 제조물 책임법의 실시에 따라 일단의 균열 발생은 제조 및 시공업체의 책임이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 균열문제의 해결대책이 절실히 필요한데, 근본적인 해결방법은 보수보강 전에 콘크리트의 제조에서부터 균열이 적은 즉 저수축의 콘크리트를 제조하는 것이다.

한편, 콘크리트의 수축저감 방법으로 단위수량 저감배합 등 여러가지가 있겠지만, 그중에서 팽창제는 수축저감에 유리한 것으로 알려지고, 또한 수축저감제의 경우도 근래에 많은 연구가 진행되고 있는 실정인데, 특히 이러한 수축저감 메카니즘이 서로 상이한 재료의 병용 치환효과가 중요하게 강조된 바도 있다.²⁾

그러므로, 본 연구는 일반 콘크리트의 수축저감을 위한 연구로서 수축저감제와 팽창제를 병용치환 하였을 경우 콘크리트의 제반 특성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

| 실험요인 | | 수준 | |
|------|--------------------------|----|---|
| 배합사항 | W/B(%) | 1 | 45 |
| | 단위수량(kg/m ³) | 1 | 170 |
| | 슬럼프(mm) | 1 | 150 ± 15 |
| | 공기량(%) | 1 | 4.5 ± 1.5 |
| | 수축저감제 혼입률(%) | 4 | 0, 0.25, 0.50, 0.75 |
| | 팽창제 혼입률(%) | 4 | 0, 2.5, 5.0, 7.5 |
| | 혼화제(%) | 1 | FA (10) |
| 실험사항 | 굳지않은 콘크리트 | 5 | 슬럼프, 슬럼프플로우 공기량, 단위용적질량, 응결시간 |
| | 경화 콘크리트 | 2 | · 압축강도(1, 3, 7, 28일) · 길이변화율(7, 14, 28, 42, 91일) |

* 청주대학교 건축공학부 일반대학원 석사과정, 정회원

** (주)덕일엔지니어링, 기술연구부, 과장

*** (주)덕일엔지니어링, 기술연구부, 부장

**** (주)덕일엔지니어링, 대표이사

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 정회원

표 2. 콘크리트의 배합

| W/C (%) | 단위수량 (kg/m ³) | S/a (%) | SP (%) | AE (%) | FA (%) | SR (%) | EA (%) | 절대용적배합 (ℓ/m ³) | | | | | | 중량배합(kg/m ³) | | | | | |
|---------|---------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|-----|-----|----|-----|----|--------------------------|-----|-----|----|-----|----|
| | | | | | | | | C | S | G | FA | SR | EA | C | S | G | FA | SR | EA |
| 45 | 170 | 46 | 0.60 | 0.0080 | 10 | 0.0 | 0.0 | 108 | 304 | 356 | 17 | 0 | 0 | 340 | 783 | 934 | 38 | 0 | 0 |
| | | | 0.60 | 0.0080 | 10 | | 2.5 | 105 | 304 | 356 | 17 | 0 | 3 | 331 | 783 | 934 | 38 | 0 | 9 |
| | | | 0.60 | 0.0080 | 10 | | 5.0 | 102 | 303 | 356 | 17 | 0 | 7 | 321 | 782 | 933 | 38 | 0 | 19 |
| | | | 0.60 | 0.0080 | 10 | | 7.5 | 99 | 303 | 356 | 17 | 0 | 10 | 311 | 782 | 933 | 38 | 0 | 28 |
| | | | 0.60 | 0.0060 | 10 | 0.25 | 0.0 | 107.7 | 304 | 356 | 17 | 0.3 | 0 | 339.1 | 783 | 934 | 38 | 0.9 | 0 |
| | | | 0.60 | 0.0060 | 10 | | 2.5 | 104.7 | 304 | 356 | 17 | 0.3 | 3 | 329.1 | 783 | 934 | 38 | 0.9 | 9 |
| | | | 0.60 | 0.0060 | 10 | | 5.0 | 101.7 | 303 | 356 | 17 | 0.3 | 7 | 319.1 | 782 | 933 | 38 | 0.9 | 19 |
| | | | 0.65 | 0.0070 | 10 | | 7.5 | 98.7 | 303 | 356 | 17 | 0.3 | 10 | 309.1 | 782 | 933 | 38 | 0.9 | 28 |
| | | | 0.60 | 0.0050 | 10 | 0.50 | 0.0 | 107.4 | 304 | 356 | 17 | 0.6 | 0 | 338.1 | 783 | 934 | 38 | 1.9 | 0 |
| | | | 0.60 | 0.0050 | 10 | | 2.5 | 104.4 | 304 | 356 | 17 | 0.6 | 3 | 328.1 | 783 | 934 | 38 | 1.9 | 9 |
| | | | 0.65 | 0.0055 | 10 | | 5.0 | 101.4 | 303 | 356 | 17 | 0.6 | 7 | 319.1 | 782 | 933 | 38 | 1.9 | 19 |
| | | | 0.65 | 0.0060 | 10 | | 7.5 | 98.4 | 303 | 356 | 17 | 0.6 | 10 | 308.1 | 782 | 933 | 38 | 1.9 | 28 |
| | | | 0.75 | 0.0045 | 10 | 0.75 | 0.0 | 107.1 | 304 | 356 | 17 | 0.9 | 0 | 337.2 | 783 | 934 | 38 | 2.8 | 0 |
| | | | 0.75 | 0.0045 | 10 | | 2.5 | 104.1 | 304 | 356 | 17 | 0.9 | 3 | 327.2 | 783 | 934 | 38 | 2.8 | 9 |
| | | | 0.80 | 0.0050 | 10 | | 5.0 | 101.1 | 303 | 356 | 17 | 0.9 | 7 | 318.2 | 782 | 933 | 38 | 2.8 | 19 |
| | | | 0.85 | 0.0055 | 10 | | 7.5 | 98.1 | 303 | 356 | 17 | 0.9 | 10 | 307.2 | 782 | 933 | 38 | 2.8 | 28 |

즉, 배합요인으로 W/B 45%, 단위수량 170kg/m³, 플라이애시(이하 FA) 10% 치환에 대하여, 수축저감제(이하 SR) 혼입률은 0, 0.25, 0.50, 0.75%의 4수준, 팽창재(이하 EA) 혼입률은 0, 2.5, 5.0, 7.5%의 4수준으로 변화시키는 것으로 총 16배치를 실험계획 하였으며, 각 배치마다 목표 슬럼프 150±15 mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 한 후 실험하는 것으로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도 및 건조수축 길이변화율을 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사계 보통포틀랜드 시멘트, 잔골재는 인천 중구 항동산 세척사, 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였고, 혼화제는 국내산 J사의 나프탈렌계 고성능감수제와 빈졸계 AE제를 사용하였다. 혼화제로 플라이애시는 보령 화력산, 수축저감제는 독일산 글루콜계, 팽창재는 국내산 석고계를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 3~8과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 준하여 실시하였다. 또한, 응결시간은 KS F 2436에 규정된 프루터 관입저항 시험방법으로 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405 규정, 건조수축 길이변화율은 KS F 2424에 의거 다이얼 게이지법으로 측정하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

| 밀도 (g/cm ³) | 분말도 (cm ² /g) | 안정도 (%) | 응결시간 (분) | | 압축강도 (MPa) | | |
|-------------------------|--------------------------|---------|----------|-----|------------|------|------|
| | | | 초결 | 종결 | 3일 | 7일 | 28일 |
| 3.15 | 3,265 | 0.150 | 210 | 300 | 22.0 | 28.9 | 38.9 |

표 4. 골재의 물리적 성질

| 구분 | 밀도 (g/cm ³) | 조립률 | 흡수율 (%) | 단위용적 중량(kg/m ³) | 0.08mm체 통과량(%) |
|------|-------------------------|------|---------|-----------------------------|----------------|
| 잔골재 | 2.58 | 2.89 | 1.12 | 1,614 | 1.15 |
| 굵은골재 | 2.62 | 6.75 | 0.69 | 1,563 | 0.10 |

표 5. 혼화제의 물리적 성질

| 구분 | 주성분 | 성상 | 밀도(g/cm ³) |
|--------|---------|--------|------------------------|
| 고성능감수제 | 나프탈렌계 | 암갈색 액체 | 1.18 |
| AE제 | Vinsol계 | 미황색 액체 | 1.185 |

표 6. 플라이애시의 물리적 성질

| 밀도 (g/cm ³) | 분말도 (cm ² /g) | 강열감량 (%) | 압축강도 비(%) | SiO ₂ | 습분 (%) | 단위수량비 (%) |
|-------------------------|--------------------------|----------|-----------|------------------|--------|-----------|
| 2.22 | 2,850 | 4.2 | 92 | 67.5 | 0.2 | 100 |

표 7. 수축저감제의 물리적 성질

| 주성분 | 용해성 | 성상 | 밀도(g/cm ³) |
|------|--------|-------|------------------------|
| 글루콜계 | 가용성 분말 | 백색 분말 | 1.02 |

표 8. 팽창제의 물리적 성질

| 밀도 (g/cm ³) | 분말도 (cm ² /g) | 화학적 성분 (%) | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------------------|-------|
| | | SiO ₂ | SiO ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | K ₂ O | F-CaO |
| 2.49 | 2,980 | 1.64 | 25.57 | 12.15 | 50.31 | 0.06 | 11.10 |

3. 실험결과 및 분석

표 9는 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량 및 초·종결 시간을 나타낸 것이다.

표 9. 균지않은 콘크리트의 특성

| SR (%) | EA (%) | FA (%) | 슬럼프 (mm) | 슬럼프 플로우(mm) | 공기량 (%) | 단위용적 질량(kg/m ³) | 초결 (h) | 종결 (h) |
|--------|--------|--------|----------|-------------|---------|-----------------------------|--------|--------|
| 0.0 | 0 | 10 | 150 | 250 | 4.5 | 2325 | 16.7 | 19.3 |
| | 2.5 | | 152 | 257 | 4.6 | 2339 | 15.9 | 18.4 |
| | 5.0 | | 156 | 258 | 5.2 | 2301 | 15.1 | 17.9 |
| | 7.5 | | 156 | 261 | 5.3 | 2299 | 15.0 | 17.8 |
| 0.25 | 0 | 10 | 147 | 247 | 4.9 | 2323 | 16.1 | 18.7 |
| | 2.5 | | 137 | 241 | 4.6 | 2320 | 16.0 | 19.1 |
| | 5.0 | | 135 | 242 | 4.0 | 2334 | 15.9 | 18.8 |
| | 7.5 | | 154 | 252 | 4.7 | 2352 | 15.8 | 18.9 |
| 0.50 | 0 | 10 | 137 | 239 | 5.0 | 2321 | 16.1 | 18.4 |
| | 2.5 | | 144 | 247 | 4.0 | 2326 | 15.8 | 17.6 |
| | 5.0 | | 155 | 261 | 4.7 | 2321 | 15.8 | 17.7 |
| | 7.5 | | 144 | 248 | 5.4 | 2304 | 15.6 | 17.9 |
| 0.75 | 0 | 10 | 135 | 237 | 4.9 | 2328 | 15.8 | 18.4 |
| | 2.5 | | 135 | 240 | 4.0 | 2337 | 15.8 | 18.5 |
| | 5.0 | | 138 | 238 | 4.6 | 2315 | 16.8 | 18.8 |
| | 7.5 | | 147 | 235 | 4.5 | 2315 | 16.6 | 18.2 |

3.1 균지않은 콘크리트의 특성

먼저 각 배치마다 배합설계를 통하여 목표 슬럼프 및 공기량을 만족시켰는데, 슬럼프는 수축저감제 혼입률 (0.5%, 팽창제 혼입률 5.0%까지는 약간 저하하는 경향으로 나타났으나, 그 이상 혼입하는 경우에는 크게 저하하여 SP제 량을 많이 증가하여야만 동일한 슬럼프를 유지할 수 있었다. 한편, 공기량은 수축저감제 혼입률 증가에 따라 약간 증가하는 경향으로 배합에서 AE제 량을 감소하였고, 팽창제 혼입률 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.2 응결특성

응결시간은 수축저감제 및 팽창제 혼입률 증가에 따라 약간 증가의 경향이였으나, 병용 치환의 경우 유동성 확보를 위한 SP량의 증가에 기인한 지연작용의 영향으로 전반적으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.3 강도특성

그림 2는 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 재령 28일 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 3은 재령 28일 인장강도를 나타낸 것이다.

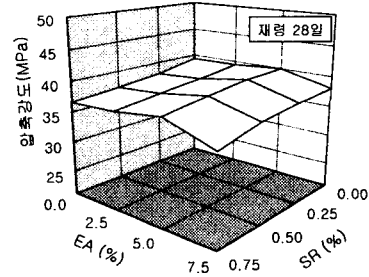


그림 2. 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 압축강도(재령 28일)

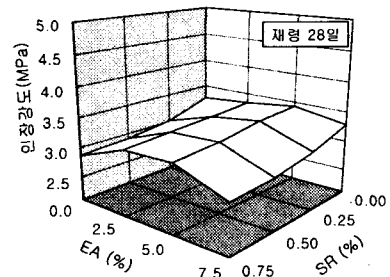


그림 3. 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 인장강도(재령 28일)

압축강도는 수축저감제 혼입률 증가에 따라 감소하는 경향으로 나타났고, 팽창제 혼입률 변화에 따라서는 혼입률 5.0%까지는 증가하다가 그 이상에서는 콘크리트가 과도한 팽창을 일으켜 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 팽창제에 의한 강도증가는 수축저감제에 의한 강도저하를 보상해줄 수 있을 것으로 사료되는데, 팽창제 혼입률 5.0%의 경우 압축강도는 FA만 치환한 경우와 비교하여 수축저감제 혼입률 0.5%까지는 증가하는 것으로 나타났고, 그 이상에서는 약간 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 압축강도 저하가 없는 수축저감제와 팽창제의 병용치환 혼입률은 팽창제 혼입률 5.0%까지, 또한 이 경우 수축저감제 혼입률 0.5%까지인 것으로 사료된다.

한편 인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 즉, 수축저감제 혼입률 증가에 따라 감소하고, 팽창제 혼입률 5.0%까지는 증가하는 경향이였다. 또한 인장강도의 저하가 없는 병용치환은 압축강도에서의 사용범위와 동일한 것으로 분석된다.

3.4 건조수축 길이변화

그림 4는 수축저감제 및 팽창제 혼입률별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이고, 그림 5는 재령 91일 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

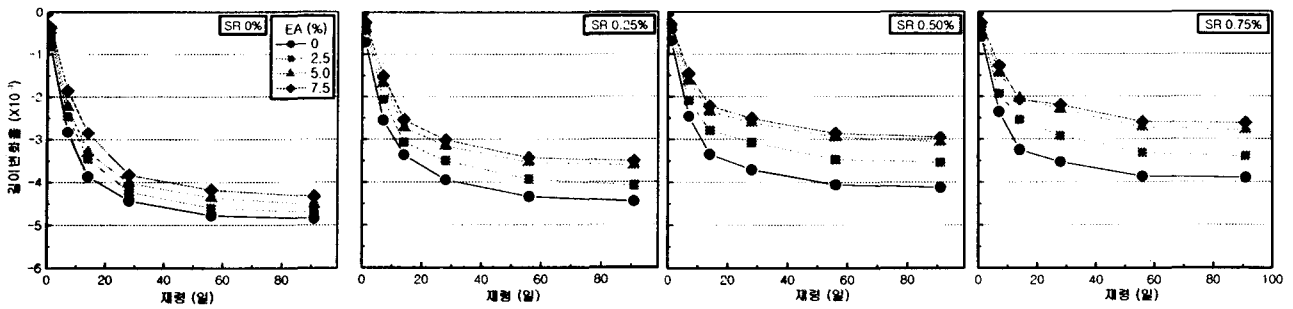


그림 4. 수축저감제 및 팽창제 혼입률별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율

건조수축 길이변화율은 재령 증가에 따라 증가하였는데, 초기에 급격히 발생하였다. 수축저감제 및 팽창제의 혼입물 증가에 따라 건조수축 길이변화율은 감소하는 것으로 나타났는데, 팽창제 혼입물 5.0% 이상의 경우는 압축강도의 저하에 기인한 자체구속력의 저하로 수축저항력이 감소하여 혼입물 5.0%와 비교하여 건조수축 길이변화율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

특히, 수축저감제와 팽창제를 병용 치환한 경우는 그림 5와 같이 팽창제의 에트린가이트 생성에 의한 팽창작용과 수축저감제의 콘크리트 내부 모세관 장력을 감소할때 기인한 수축저감 작용의 복합효과에 의하여 각각의 단독사용의 경우보다 건조수축이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

즉, 일예로 팽창제 혼입물 5.0%, 수축저감제 혼입물 0.5%의 경우 재령 91일 길이변화율이 -3.07×10^{-4} 으로 FA만 치환한 경우의 -4.85×10^{-4} 에 비하여 약 37%정도 수축을 저감할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

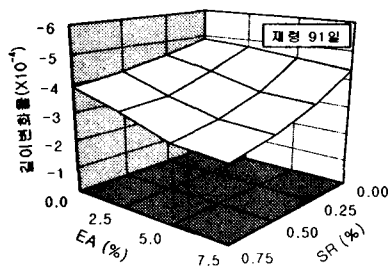


그림 5. 수축저감제 및 팽창제 혼입를 변화에 따른 길이변화율(재령 91일)

4. 결 론

본 연구는 콘크리트의 수축저감에 관한 연구로서 수축저감제와 팽창제를 병용 치환한 콘크리트의 공학적 특성 및 수축특성에 대하여 검토하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프는 수축저감제 및 팽창제 혼입물 증가에 따라 감소하는 경향이었고, 공기량은 반대로 증가하는 경향이였다.

- 2) 응결시간은 수축저감제 및 팽창제 혼입물 증가에 따라 약간의 축진은 있으나 큰 차이는 아닌 것으로 나타났다.

- 3) 강도특성으로 압축강도 및 인장강도는 수축저감제 혼입물 증가에 따라서는 감소하는 경향이고, 팽창제 혼입물 5.0%까지는 증가하나 그 이상에서는 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 강도저하가 없는 사용량은 팽창제는 5.0%이고, 수축저감제는 0.5%까지 병용할 때 가능한 것으로 분석되었다.

- 4) 건조수축 길이변화 특성으로 수축저감제 및 팽창제 혼입물 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났는데, 병용 치환의 경우는 서로 상이한 수축저감 메커니즘의 복합작용으로 길이변화율이 크게 저감되는 것으로 나타났다.

종합적으로 본 실험의 조건에서는 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 감안하면 수축저감제 0.5% 및 팽창제 5.0%가 적정 혼합 비율로 이들을 병용 치환한 경우 37%전후의 수축저감을 가져올수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 오광진 ; 콘크리트 구조물의 균열평가 및 보수보강, 한국시설안전기술공단 시설물 보수보강 및 진단기술, 2002.9
2. 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬 ; 팽창제 및 수축저감제를 사용한 고성능 콘크리트의 수축특성, 한국콘크리트학회논문집, Vol.15, NO.6, 2003.12 pp.785-793