

동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 부식 저항성에 관한 연구

A Study on The Corrosion Resistance of Concrete Containing Copper Slag

이 동 운* 정 유 진** 김 영 수***
Lee, Dong-Un Jung, Yoo-Jin Kim, Young-Su

Abstract

The purpose of this study was to analyze steel corrosion resistance of concrete containing copper slag. The specimens were made with normal portland cement and pozzolan materials with various replacement ratio and with W/B ratio ranging from 35% to 55%. Compressive strength, coefficient of chloride diffusion, corrosion area ratio and weight reduction ratio were determined for the test. The results show that the concrete with pozzolan materials is superior resistant to chloride ions compared to the concrete without pozzolan materials. It was observed that blast furnace slag replacement ratio of 20% gives the best results with respect to chloride ion penetration and corrosion tests and observed that copper slag replacement ratio of 10% gives the superior resistance compared to normal concrete.

요 지

이 연구의 목적은 동제련슬래그를 혼입한 콘크리트의 철근부식저항성에 관한 특성을 분석하는데 있다. 물 결합재비 35%-55%의 범위에서 보통포틀랜드 시멘트에 다양한 치환율로 포졸란재를 혼입하여 압축강도, 염화물 확산계수, 철근부식면적율 그리고 중량감소율을 시험을 통해 확인하였다. 결과는 보여준다. 포졸란재를 혼입한 콘크리트는 포졸란재를 혼입하지 않은 콘크리트에 비해 염화물 이온에 대한 저항성이 우수함을 보여 주었다. 고로슬래그를 20%치환한 경우가 염화물 침투 깊이 및 각종 부식 시험에 대해 가장 우수한 결과를 나타내었으며, 동제련슬래그 10%를 치환한 배합 역시 보통 콘크리트에 비해 염화물 침투 깊이 및 각종 부식시험에 대해 뛰어난 결과를 보였다.

Keywords : Copper slag, Coefficient of chloride diffusion, Corrosion area ratio, Weight reduction ratio

핵심 용어 : 동제련슬래그, 염화물 확산계수, 부식면적율, 중량감소율

* 동서대학교 건축토목시스템 공학부 전임강사, 공학박사

** 부산대학교 건축공학과 대학원 석사과정

*** 부산대학교 건축학부 교수, 공학박사

E-mail : edu21@dongseo.ac.kr 051-320-1931

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

1. 서 론

세계 여러 나라에서는 오래전부터 산업부산물인 환경에 미치는 영향을 고려하여 산업 부산물에 대한 재활용과 그에 따른 관련기술 개발이 다각적으로 연구되고 있다. 따라서 여러 종류의 슬래그를 비롯한 각종 산업부산물을 건설 분야에서 재활용함은 향후 환경보전 및 천연 골재의 채취 규제에 의한 대체 재료 확보와, 국가적인 측면에서 많은 사회적·경제적 이점을 산출할 수 있을 것으로 생각된다.

철강 제련 중 발생하는 고로 슬래그와 함께 구리(Cu)의 제련 과정에서 많은 양의 슬래그가 발생되며, 국내에서만 매년 70만 톤의 동제련 슬래그가 발생되고 있다. 입상으로 생산되는 동제련 수쇄슬래그는 높은 비중과 상호간의 가벼운 표면고착성이 있기는 하나, 고로 슬래그와는 달리 제조과정 중에 황 성분이 제거되어 사용에는 큰 어려움이 없으나 건설 산업에서도 도로노반재나 샌드 블라스팅재로 30만톤 가량으로 사용되고 있으며 잔골재 대체재로서 연구가 일부 진행중인 상태이다. 이런 동제련 슬래그는 그 성분 중에 SiO₂가 다량으로 함유되어 있으며 포졸란 반응성을 보여 시멘트 대체재로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 동제련 슬래그 콘크리트의 시멘트 대체재로서의 사용성 확인을 위해 철근부식 저항성을 연구하여 기존 포졸란재 혼입 콘크리트, 보통 콘크리트와 비교를 통하여 동제련 슬래그 혼입 콘크리트의

Table 1 결합재의 화학적 성분 및 물리적 성질

| 성분 (%) | 시멘트 | 플라이애쉬 | 고로슬래그 | 동제련슬래그 |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 20.7 | 61.2 | 32.4 | 33.0 |
| Al ₂ O ₃ | 5.6 | 24.9 | 13.2 | 4.5 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.0 | 4.6 | 6.1 | 7.3 |
| CaO | 62.5 | 1.8 | 42.4 | 5.5 |
| MgO | 3.4 | 0.6 | 0.4 | 0.7 |
| SO ₃ | 2.5 | - | 3.2 | - |
| Cu | - | - | - | 1.0 |
| FeO | - | - | - | 39.5 |
| L.O.I. | 1.4 | 3.7 | - | - |
| 분말도 | 3,270cm ² /g | 4,850cm ² /g | 4,190cm ² /g | 3,370cm ² /g |
| 비 중 | 3.15 | 2.25 | 2.93 | 3.15 |

기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험재료

2.1.1 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트이며, 플라이애쉬는 경남 S 화력발전소에서 채취한 것으로서 ASTM F급을 만족하고 있다. 고로슬래그 미분말은 KS F 2563에 규정된 것을 사용하고, 동제련 슬래그는 경남 L사의 연속로 공법에 의해 생산된 것을 사용하였다. 이들 결합재의 화학적 성분과 물리적 성질은 각각 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

본 실험에서 사용한 골재는 표준 입도 범위 안에 들도록 입도를 조정하였으며 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.2 실험방법⁽²⁾⁽⁶⁾

2.2.1 시편계획

동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 철근부식 저항성을 규명하기 위해 실험인자를 물결합재비(W/B), 동제련 슬래그 치환율로 설정하였으며 실험에 사용된 평가항목은 Table 3와 같고, 배합상세는 Table 4와 같다.

Table 2 골재의 물리적 성질

| 골재 종류 | 굵은골재최대 치수(mm) | 조립율 (F·M) | 표건 비중 | 흡수율 (%) | 비고 |
|-------|---------------|-----------|-------|---------|-----|
| 굵은 골재 | 25 | 6.85 | 2.68 | 1.41 | 쇄석 |
| 잔골재 | 5 | 2.85 | 2.57 | 2.33 | 강모래 |

Table 3 실험인자 및 평가항목

| 인 자 | 수 준 | 평 가 항 목 |
|-----------|------------|--|
| W/B(%) | 35, 45, 55 | 압축강도 자연전위 염화물 확산계수 철근부식면적율 철근중량감소율 |
| 동제련슬래그(%) | 0, 10, 20 | |
| 고로슬래그(%) | 20 | |
| 플라이애쉬(%) | 20, 30 | |

Table 4 콘크리트 배합표

| 공시체 종류 | W/B (%) | 굵은골재 최대치수 (mm) | S/A (%) | 염화나트륨 (kg/m ³) | 단위중량(kg/m ³) | | | | | | 혼화제(%) | | | | | | | |
|---------|---------|----------------|---------|----------------------------|--------------------------|------|--------|---------|--------|-----|--------|-------|-------|--|-----|------|-----|-------|
| | | | | | 단위 수량 | 결합재량 | | | | 잔골재 | 굵은골재 | 유동 화제 | AE제 | | | | | |
| | | | | | | 시멘트 | 플라이 애쉬 | 동제련 슬래그 | 고로 슬래그 | | | | | | | | | |
| 1P | 35 | 25 | 38 | - | 140 | 400 | | | | 695 | 1122 | 0.8 | 0.02 | | | | | |
| 1CS10 | | | | | | 360 | | 40 | | 695 | 1122 | 0.8 | 0.02 | | | | | |
| 2P | 45 | 25 | 38 | - | 180 | 400 | | | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 | | | | | |
| 2BS20 | | | | | | 320 | | | 80 | 653 | 1052 | 0.15 | 0.015 | | | | | |
| 2CS10 | | | | | | 360 | | 40 | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 | | | | | |
| 2CS20 | | | | | | 320 | | 80 | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 | | | | | |
| 2FA20 | | | | | | 320 | 80 | | | 645 | 1039 | 0.2 | 0.020 | | | | | |
| 2FA30 | | | | | | 280 | 120 | | | 640 | 1031 | 0.25 | 0.025 | | | | | |
| 3P | | | | | | 300 | | | | 770 | 1060 | - | - | | | | | |
| 3BS20 | | | | | | 240 | | | 60 | 768 | 1058 | - | - | | | | | |
| 3CS10 | 55 | 25 | 42 | - | 165 | 270 | | 30 | | 770 | 1060 | - | - | | | | | |
| 3CS20 | | | | | | 240 | | 60 | | 770 | 1060 | - | - | | | | | |
| 3FA20 | | | | | | 240 | 60 | | | 762 | 1049 | - | - | | | | | |
| 3FA30 | | | | | | 210 | 90 | | | 758 | 1043 | - | - | | | | | |
| 2N1P | | | | | | 45 | 25 | 38 | 0.3 | 180 | 400 | | | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 |
| 2N1CS10 | | | | | | | | | | | 360 | | 40 | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 |
| 3N1CS10 | 55 | | 42 | | 165 | 270 | | 30 | | 770 | 1060 | - | - | | | | | |
| 2N2P | 45 | 25 | 38 | 0.9 | 180 | 400 | | | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 | | | | | |
| 2N2CS10 | | | | | | 360 | | 40 | | 655 | 1056 | 0.1 | 0.010 | | | | | |
| 3N2CS10 | 55 | | 42 | | 165 | 270 | | 30 | | 770 | 1060 | - | - | | | | | |

1(2, 3, 4) N1(2) P(SF, FA)

P : 보통 콘크리트, BS : 고로슬래그, CS : 동제련슬래그, FA : 플라이애쉬

염화물 량 : N1(0.3), N2(0.9)

물결합재비 : 1(35), 2(45), 3(55), 4(65)

2.2.2 압축강도

경화 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 소정의 양생기간을 거친 공시체를 최대 용량 200tf의 만능 재료 시험기를 이용하여 측정하였다.

2.2.3 철근부식면적율

원주형 몰드(φ10×20cm)를 사용하여 이형철근 D13을 20cm 길이로 절단하여, 피복두께 2cm, 3cm가 되게 하여 시편을 제작하였다. 28일간 양생 후, 오토클레이브 양생을 고온고압(온도 180℃, 압력 10기압)으로 8사이클을 행하였다. 부식면적율은 2.5mm간격으로 직교하는 눈금이 있는 투명 셀로판지를 계측용지로 하여 철근의 밑면이 셀로판지 중심에 위치하도록 부식 지도를 도시하고, 부식부분에 포함된 결점수 n을 구하였다. 철근전개도에 포함된 전체결점수를 N으로 하여 부식면적율은 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\text{부식면적율}(\%) = \frac{\text{부식면적의결점수}(n)}{\text{측정면적의전체결점수}(N)} \times 100 \quad (1)$$

2.2.4 철근중량 감소율

철근중량감소율은 각각의 부식 철근에 시편종류와 피복두께를 인식할 수 있는 라벨을 부착하여 10% 구연산이암모늄 수용액에 넣고 24시간 방치한 후 철근을 꺼내어 아세톤으로 녹을 닦아내고 중량을 측정하였다.

부식에 의해 감소된 중량은 부식 전 측정된 철근 중량에서 부식 녹이 제거된 철근 중량을 감하여 측정하였고 감소된 철근 중량을 부식 전 철근 중량으로 나눈 값을 중량감소율로 계산하였다.

2.2.5 염화물 확산계수

염화물 확산계수는 28일, 56일 양생 한 후 Fig. 2와 같이 염화물 침투깊이를 측정하여 기존의 연구⁽³⁾⁽⁴⁾

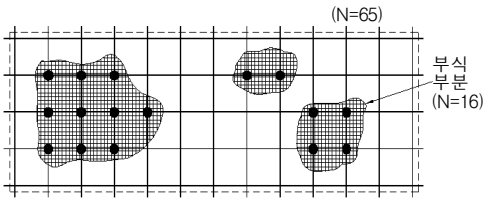
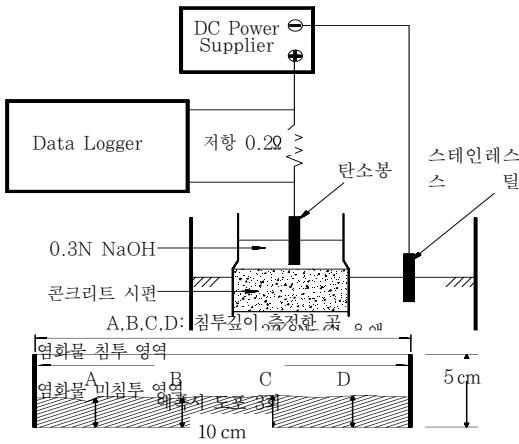


Fig. 3 철근부식 측정 예

를 토대로 하여 확산계수를 구하였다. DC 30V를 24 시간 동안 공급하여 할염과괴한 콘크리트 시험체를 형광발색법을 이용하여 침투깊이를 측정 한 다음, 식 (2)에 의해 염화물 확산계수를 구하였다.

$$D = 1.189 \times 10^{-11} \left(\frac{x_d - 1.061 x_d^{0.589}}{t} \right) \quad (2)$$

D: 확산계수(m²/sec)

x_d: 침투깊이(mm)

t: 시간(hour)

2.2.6 자연전위

자연전위는 포화황정동 전극을 사용하여 ASTM C 876에 준하여 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 압축강도

Fig. 4와 Fig. 5은 각각 물결합재비 45% 및 55%에서 재령에 따른 동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 물결합재비 45%의 동제련 슬래그를 10%, 20% 치환한 콘크리트의 경우, 3일과 7일의 초기재령에서는 보통 콘크리트에 비해 낮은 압축강도를 나타내었지만, 28일 이후 중장기재령에서는 높은 압축강도를 나타내었다.

28, 56일 재령에서 각각 31.8, 38.7MPa로 10% 가장 높은 강도를 보여, 장기재령으로 갈수록 뚜렷한 강도증진 나타내고 있음을 알 수 있었다.

이는 보통 포틀랜드 시멘트의 경우, CaO량이 60%

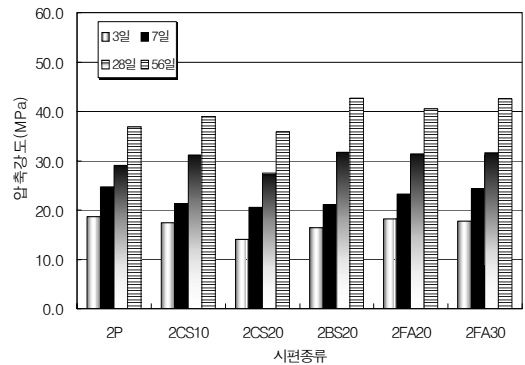


Fig. 4 W/B=45%에서의 재령에 따른 압축강도 변화

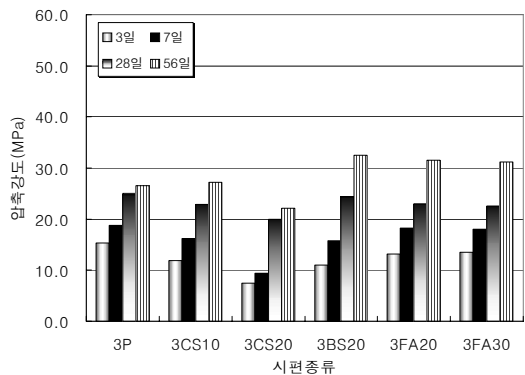


Fig. 5 W/B=55%에서의 재령에 따른 압축강도 변화

Table 5 실험 결과

| 공시체 종류 | 압축강도 (MPa) | | | | 자연전위 (mV) | | 침투깊이 (mm) | | 확산계수 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$) | | 철근부식면적율 (%) | | 철근중량감소율 (%) | |
|-----------|---------------|------|------|------|--------------|-----|--------------|-----|---|------|----------------|------|----------------|-------|
| | | | | | | | RCPT | | | | | | | |
| | 3일 | 7일 | 28일 | 56일 | 28일 | 56일 | 28일 | 56일 | 28일 | 56일 | 2cm | 3cm | 2cm | 3cm |
| 1P | 36.5 | 38.1 | 47.5 | 49.3 | 370 | 363 | 22 | 20 | 7.7 | 6.8 | 2.28 | 2.06 | 0.233 | 0.208 |
| 1CS10 | 33.5 | 35.9 | 44.2 | 54.0 | 342 | 330 | 21 | 15 | 7.2 | 4.8 | 2.08 | 1.65 | 0.226 | 0.132 |
| 2P | 18.7 | 24.7 | 29.0 | 36.8 | 430 | 412 | 29 | 25 | 10.5 | 8.9 | 4.56 | 4.02 | 0.370 | 0.326 |
| 2BS20 | 16.4 | 21.1 | 31.8 | 44.2 | 428 | 395 | 20 | 12 | 6.8 | 3.7 | 3.70 | 2.90 | 0.258 | 0.230 |
| 2CS10 | 17.5 | 22.4 | 31.2 | 39.7 | 420 | 395 | 28 | 18 | 10.1 | 6.0 | 3.96 | 3.06 | 0.302 | 0.247 |
| 2CS20 | 14.1 | 20.6 | 27.5 | 35.9 | 432 | 405 | 29 | 24 | 10.5 | 8.5 | 4.55 | 4.03 | 0.368 | 0.328 |
| 2FA20 | 18.2 | 23.3 | 31.4 | 41.8 | 423 | 386 | 28 | 19 | 10.1 | 6.4 | 3.83 | 3.02 | 0.276 | 0.242 |
| 2FA30 | 17.7 | 24.4 | 31.6 | 45.6 | 430 | 403 | 29 | 17 | 10.5 | 5.6 | 3.69 | 2.92 | 0.266 | 0.240 |
| 3P | 15.4 | 18.8 | 25.0 | 26.5 | 480 | 453 | 38 | 33 | 14.3 | 12.2 | 6.86 | 5.98 | 0.708 | 0.561 |
| 3BS20 | 11.0 | 15.7 | 24.4 | 32.5 | 463 | 426 | 35 | 25 | 13.1 | 8.9 | 5.66 | 4.85 | 0.552 | 0.338 |
| 3CS10 | 11.9 | 16.2 | 22.9 | 27.2 | 463 | 430 | 38 | 26 | 14.3 | 9.3 | 6.40 | 5.68 | 0.620 | 0.487 |
| 3CS20 | 7.5 | 9.4 | 20.0 | 22.2 | 510 | 473 | 42 | 34 | 16.1 | 12.6 | 7.15 | 6.47 | 0.764 | 0.606 |
| 3FA20 | 13.1 | 18.2 | 23.0 | 31.5 | 420 | 365 | 40 | 28 | 15.2 | 10.1 | 5.82 | 4.96 | 0.567 | 0.433 |
| 3FA30 | 13.5 | 18.0 | 22.6 | 31.2 | 415 | 368 | 42 | 26 | 16.1 | 9.3 | 5.88 | 4.96 | 0.572 | 0.433 |
| 1N2P | 20.7 | 27.2 | 30.2 | 40.6 | 452 | 412 | - | - | - | - | 5.41 | 4.67 | 0.554 | 0.548 |
| 1N2CS10 | 17.6 | 25.9 | 31.4 | 41.8 | 430 | 386 | - | - | - | - | 4.56 | 3.32 | 0.377 | 0.267 |
| 1N3CS10 | 12.0 | 17.4 | 23.2 | 26.2 | 476 | 476 | - | - | - | - | 8.13 | 6.20 | 0.816 | 0.767 |
| 2N2P | 20.9 | 27.5 | 30.8 | 41.5 | 470 | 443 | - | - | - | - | 7.23 | 6.47 | 0.760 | 0.577 |
| 2N2CS10 | 19.0 | 25.6 | 31.8 | 42.5 | 472 | 432 | - | - | - | - | 6.24 | 4.92 | 0.638 | 0.447 |
| 2N3CS10 | 13.6 | 17.2 | 23.9 | 30.6 | 503 | 468 | - | - | - | - | 10.21 | 9.11 | 0.941 | 0.876 |

를 상회하여 자체적으로 충분한 수경성을 지니므로 초기강도의 발현에 유리하게 작용하였으며 동제련 슬래그를 혼입한 경우 시멘트량의 감소에 따른 CaO의 량의 감소로 초기 반응에서 불리한 것으로 사료된다.

고로슬래그와 동제련 슬래그의 포졸란반응성은 잠재 수경성으로서 알칼리환경내에서 중장기재령이후에 활발하게 일어나며 콘크리트의 내부구조를 치밀하게 만들어 중장기재령이후 압축강도의 경우 보통 콘크리트보다 높게 나타난다. 하지만 동제련 슬래그 10%를 치환한 콘크리트의 경우 고로슬래그 20%를 혼입한 콘크리트에 비해서 재령 3일의 압축강도를 제외한 나머지 재령에서의 압축강도가 모두 낮게 나타나, 고로슬래그에 비해 동제련 슬래그의 포졸란반응성이 다소 낮은 것으로 판단된다.

3.2 철근중량감소율

3.2.1 시편종류에 따른 철근중량감소율

Fig. 6은 시편 종류에 따른 철근중량감소율을 나타낸 것으로 부식된 철근의 중량감소율은 대략적으로 1%이하로 나타났다. 동제련 슬래그 10% 혼입 콘크리트의 경우 물결합제비 45%에서 0.247%로 보통 콘크리트 0.326%에 비해 낮은 철근중량감소율을 보였고, 고로슬래그에 비해서 높지만 플라이애쉬 20% 혼입한 콘크리트와 거의 유사한 경향을 보였다.

3.2.2 피복두께에 따른 철근중량감소율

Fig. 7는 피복두께에 따른 철근중량감소율을 나타낸 것이다. 동제련 슬래그를 혼입한 콘크리트의 경우 피복두께를 2cm에서 3cm로 증가시킴에 따라 약 23%의 철근중량감소율을 보여 13%의 감소경향을 보인 보통 콘크리트에 비해 피복두께 증가에 따른 철근중량감소율이 뚜렷하게 나타났다. 이는 동제련 슬래그 콘크리트의 경우 동제련 슬래그의 포졸란 반응으로 인해 피복 콘크리트의 공극구조가 개선되어 보통 콘크리트에 비해 산소나 염소이온과 같은 유해물질의 침투에

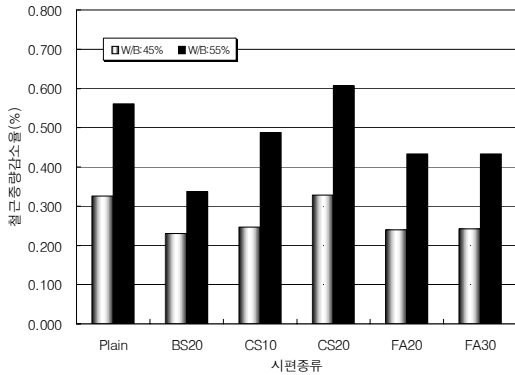


Fig. 6 시편에 따른 철근중량감소율

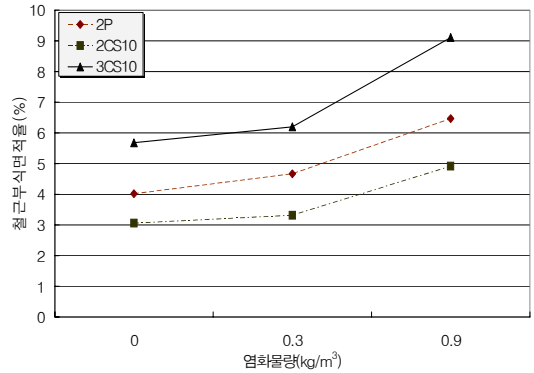


Fig. 8 염화물량에 따른 철근부식면적율

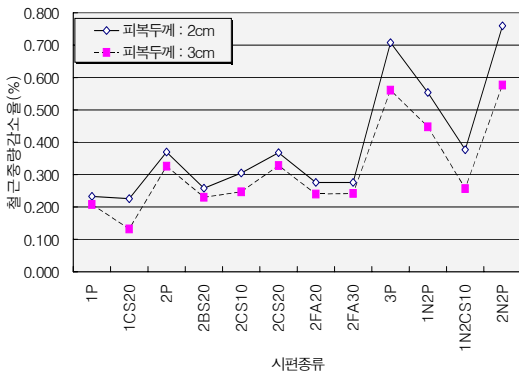


Fig. 7 피복두께에 따른 철근중량감소율

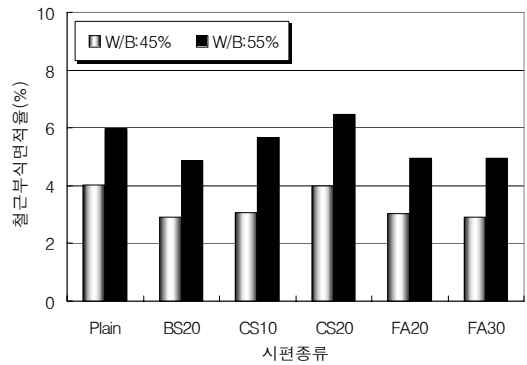


Fig. 9 시편종류에 따른 철근부식면적율

다른 침투깊이가 억제되어 철근의 부식이 감소되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 피복두께 2cm의 경우 피복두께 3cm보다 전반적으로 높은 철근중량감소율을 나타내 해안지역과 같은 지속적인 성능저하환경에 노출된 구조물의 철근부식을 방지하기 위해서는 충분한 피복두께를 확보하는 것이 매우 중요할 것으로 사료된다.

3.3 철근부식면적율

3.3.1 염화물 혼입량에 따른 철근부식면적율

Fig. 8은 염화물 혼입량에 따른 철근부식면적율을 나타내었다. 염화물량이 증가할수록 거의 직선적으로 철근부식면적율이 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 염화물 량이 0에서 0.3kg/m³으로 증가되었을 때 철근부식면적율증가는 동계련 슬래그 10%를 혼입한 경

우 1.08%, 보통 콘크리트의 경우 1.16%로 보통 콘크리트의 경우 가장 크게 증가하였으며 동계련 슬래그 20%를 혼입한 경우도 10%와 유사한 경향을 나타내었다.

3.3.2 시편종류에 따른 철근부식면적율

Fig. 9에서 물 경합재비 45%인 경우 보통 콘크리트의 부식면적율은 4.02%였으며 BS20, CS10, FA30에 대한 부식면적율은 각각 2.90, 3.06, 2.92%로 보통 콘크리트의 경우보다 72%, 76%, 72%로 CS20을 제외하고는 감소경향을 보였다. 동계련 슬래그 10% 혼입한 경우 플라이애쉬 20% 혼입한 경우와 유사하게 나타났으며 보통콘크리트에 비해 우수하게 나타났다. 전체적으로 철근부식면적율과 철근중량감소율은 유사한 결과를 보여주었다.

3.4 자연전위

Fig. 10은 시편종류에 따른 자연전위를 나타낸 것으로 보통 콘크리트는 물결합재비가 증가함에 따라 자연전위의 증가가 나타났다. 동제련 슬래그 10%를 혼입한 경우 -395~-420mV로 보통 콘크리트의 -412mV~-430mV에 비해 작게 나타났으나 큰 차이를 보이지 않았다. 전반적으로 피복두께가 증가할수록 자연전위는 낮게 나타났고, 염화물을 첨가한 경우는 염화물을 첨가하지 않은 경우에 비해 높은 자연전위를 나타내었다.

Fig. 11은 자연전위와 철근부식 면적률을 나타낸 것이다. 자연전위를 원인변수로 두고 회귀분석을 실시한 결과 회귀방정식은 $y = 94.921 \ln(x) + 286.23$ 이며 상관계수(R^2)는 0.82로 비교적 상관관계가 있는 것으로 나타나 자연전위에 의한 철근 부식의 비파괴 추정은 가능하다고 사료된다. 이와 같이 부식량과 자연전위와의 상관성 검토는 철근부식 평가의 최선의 비교방법이나 간접적 비교일 뿐이고, 따라서 그 평가 또

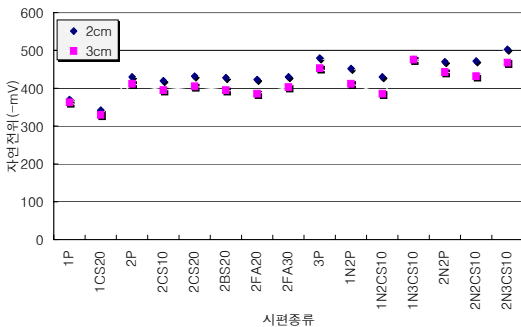


Fig. 10 시편종류에 따른 자연전위

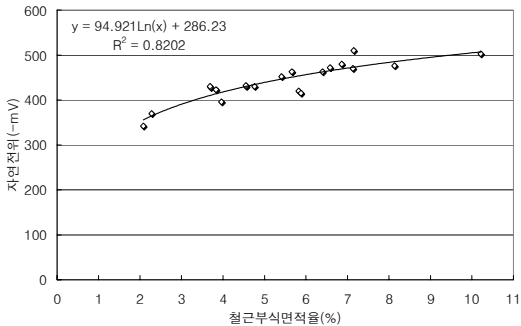


Fig. 11 자연전위와 철근부식면적률

한 대략적일 수 밖에 없는 한계점을 가지고 있다

3.5 염화물 확산계수⁽⁵⁾

3.5.1 재령에 따른 염화물 확산계수

Fig. 13은 염화물의 침투깊이를 사용하여 염화물 확산계수를 측정한 값으로 56/28일 확산계수비를 살펴보면 고로슬래그를 20% 혼입한 경우가 60%로 가장 낮게 나왔다. 동제련 슬래그를 혼입한 시편은 65%로 나타나 플라이 애쉬를 혼입한 경우와 유사하고 보통 콘크리트의 84%보다 낮아 재령증가에 따른 확산계수의 감소경향이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다. 한편 28일 재령에서 고로슬래그 콘크리트의 염화물 확산계수는 $6.8 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 보통 콘크리트의 $10.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 보다 36%의 감소를 보였다. 이는 고로슬래그의 화학적 저항성으로 프리델시엄 고정화 효과에 의해 염화물의 침투에 대해 효과가 큰 것으로 나타난다. 동제련 슬래그 10% 혼입한 콘크리트의 경

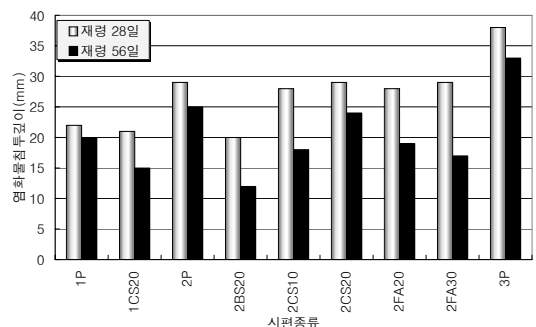


Fig. 12 시편종류에 따른 염화물침투깊이

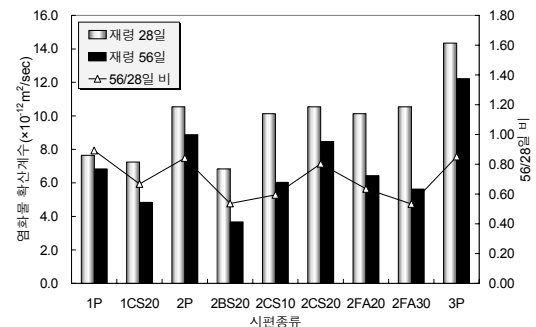


Fig. 13 시편종류에 따른 염화물확산계수

우 플라이 애쉬를 20% 혼입한 콘크리트와 유사하게 나오며 28일과 56일 재령에서 보통 콘크리트보다 염화물 침투 저항에 유리하였다.

3.5.2 재령에 따른 염화물 침투깊이

Fig. 14는 염화물 확산계수에 대한 철근부식 면적률을 나타낸 것이다. 확산계수와 철근 부식 면적율은 선형비례관계로 나타났다. 확산계수를 원인변수로 두고 회귀분석한 결과 회귀 방정식은 $y = 0.4706x - 0.6922$ 로 나타났으며 상관계수(R^2)는 0.88으로 비교적 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 중의 염분침투기구를 확산이론에 의해 해석함에 따라 콘크리트 열화의 정도나 철근의 부식 정도를 추정하는 것은 가능하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 철근부식에 대한 동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 저항성을 평가하기 위하여 철근축진양생을 거친 후, 철근부식 면적률, 철근중량 감소률, 자연전위 등을 측정하여 철근부식 저항성을 평가하였다. 또한 염화물 이온 침투 축진법에 의한 확산계수의 측정을 통해 염화물의 확산성을 평가하여 철근부식과의 상관관계를 분석하였고, 동제련 슬래그 치환율과 재령에 따른 철근 부식을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일 배합조건에서 동제련 슬래그 10% 혼입 콘크리트는 28일, 56일 재령시 보통콘크리트보다 높은 압축강도를 보였으며 20% 혼입시 유사하게 나타났다. 초기재령에서는 보통 콘크리트에 비해 낮게 나타났으나 고로슬래그에 비해 높은 조기강도를 보였다.
- 2) 28일 재령에서 동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 철근부식면적율은 보통콘크리트의 76%로 낮게 나타났으며 염화물 혼입시에도 자연전위 값이 비교적 낮게 나와 철근부식에 대한 내구성이 상대적으로 우수함을 확인할 수 있었다.
- 3) 동일 배합조건에서 동제련 슬래그 혼입 콘크리트는 28일 재령시 보통 콘크리트보다 낮은 염화물 확산계수를 나타내었고, 56일 재령에서는 $6.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 보통 콘크리트 $8.9 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 에 비해 35%가량 작은 값을 보여 재령이 경과함에 따라 높은 염화물

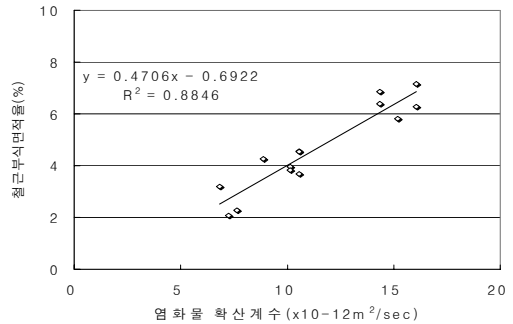


Fig. 14 염화물 확산계수와 철근부식 면적률

이온 침투 저항성을 보이는 것으로 나타났다.

- 4) 피복두께를 2cm에서 3cm로 증가시킴에 따라 철근부식 면적률은 보통 콘크리트의 경우 13%의 감소를 보였으나, 동제련 슬래그 혼입 콘크리트의 경우 29%의 감소를 보여 보통 콘크리트에 비해 피복두께 증가에 따른 철근부식의 감소율이 높음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박조범, "동제련 슬래그를 혼입한 모르타의 강도 특성에 관한 연구," 석사학위논문, 건국대학교 대학원, 2000.
2. J. Kropp, H. K. Hilsdorf, "Performance Criteria for Concrete Durability", E&FN Spon, RILEM, 1995.
3. T. C. Hansen, H. Jensen, T. Johannesson, "Chloride Diffusion and Corrosion Initiation of Steel Reinforcement in Fly Ash Concretes," Cement and Concrete Research, Vol. 16, No. 5, 1986, pp. 782-784.
4. L. Tang, L. Nilsson, "Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electric Field," ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 1, 1992, pp. 49-53.
5. M. Nagesh, Bishwajit Bhattacharjee, "Modeling of Chloride Diffusion in Concrete and Determination of Diffusion Coefficients," ACI Material Journal, Vol. 95, No. 2, 1998, pp. 113-120.
6. ACI Committee 222, "Corrosion of Metals in Concrete," ACI Manual, Part 1, 1994.

(접수일자 : 2006년 3월 10일)