



규불화염계 복합 조성물을 혼입한 콘크리트의 균열제어 및 내구성

윤현도¹⁾·양일승^{1)*}·김도수²⁾·길배수²⁾·한승구³⁾

¹⁾충남대학교 ²⁾(주)트라이포드 ³⁾계룡건설산업(주)

(2005년 4월 18일 원고접수, 2005년 11월 30일 심사완료)

Durability and Crack Control of Concrete Using Fluosilicates Based Composite

Hyun-Do Yun¹⁾, Il-Seung Yang^{1)*}, Do-Su Kim²⁾, Bae-Su Khil²⁾, and Seung-Gu Han³⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²⁾Tripod Co. Inc., Daejeon 138-130, Korea

³⁾Kyeryong Co. Inc., Daejeon 135-736, Korea

(Received April 18, 2005, Accepted November 30, 2005)

ABSTRACT

The crack presented in concrete structures causes a structural defect, the durability decrease, and external damages etc. Therefore, it is necessary to improve durability through the effort to control the crack. Fluosilicic acid(H_2SiF_6) is recovered as aqueous solution which absorbs SiF_4 produced from the manufacturing of industrial-graded H_3PO_4 or HF. Generally, fluosilicates prepared by the reaction between H_2SiF_6 and metal salts. Addition of fluosilicates to cement endows odd properties through unique chemical reaction with the fresh and hardened cement. Mix proportions for experiment were modulated at 0.45 of water to cement ratio and 0.0~2.0% of adding ratio of fluosilicate salt based inorganic compound. To evaluate correlation of concrete strength and adding ratio of fluosilicate salt based inorganic compound, the tests were performed about design strength(21, 24, 27 MPa) with 0.5% of adding ratio of fluosilicate salt based inorganic compound. Applications of fluosilicate salt based inorganic compound to reduce cracks resulted from plastic and drying shrinkage, to improve durability are presented in this paper. Durability was evaluated as neutralization, chloride ion penetration depth, freezing thawing resistant tests and weight loss according reinforcement corrosion. It is ascertained that the concrete added fluosilicate salt based inorganic compound showed an ability to reduce the total area and maximum crack width significantly as compared non-added concrete. In addition, the durability of concrete improved because of resistance to crack and watertightness by packing role of fluosilicate salt based inorganic compound obtained and pozzolanic reaction of soluble SiO_2 than non-added concrete.

Keywords: fluosilicate salt based inorganic compound, crack reduction, drying shrinkage, water tightness, durability

1. 서 론

콘크리트에 균열이 발생하게 되면 구조적 결함, 내구성 저하, 외관 손상 등을 유발하여 치명적인 손실을 초래하기 때문에 균열제어를 통한 내구성능의 증대가 필수적이다. 국내 콘크리트 구조물의 동향을 살펴보면 LCC 개념에 비추어 구조물의 신축비용이 25%에 불과하고, 다양한 형태의 균열보수, 개수, 유지관리 및 폐기처분에 대한 비용이 75%를 차지함에 따라 구조물 시공시 콘크리트의 균열 발생과 시공 후 콘크리트 내 철근부식을 억제하는 기술이 요구되고 있다. 특히, 인산(H_3PO_4) 제조공정에서 회수되는 불화규산(H_2SiF_6)을 활용하여 제조된 규불화염계 화합물은

효과적인 균열 제어와 수화열의 상승억제, 철근 부식·팽창에 의한 2차적인 균열발생 억제 및 중성화, 동결융해저항성 등의 내구성 향상에 기여하는 것으로 알려지고 있다¹⁻⁸⁾. 이에 본 연구에서는 규불화염계 복합조성물이 콘크리트의 균열제어 및 내구성에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 실험변수 및 규불화염계 복합조성물의 물성

본 연구에서 주요한 변수는 Table 1에 나타낸 바와 같이 설계기준강도(24 MPa)에 대해 규불화염계 복합조성물(SWP-2)을 시멘트 중량대비 0%~2%(wt%)로 첨가하였다. 또한, SWP-2의 첨가율을 0.5%로 고정하고, 설계기준강도별(21, 24, 27 MPa)로 배합을 변화시켰을 때 SWP-2의

* Corresponding author

E-mail : yang1698@hanmail.net

©2006 by Korea Concrete Institute

Table 1 Test variables and specimen numbering

Specimen	SWP-2 (Cx%)	W/B	S/a	Design strength (MPa)
W/B50-0.0	0.0	0.50	0.45	24.0
W/B50-0.5	0.5			
W/B50-1.0	1.0			
W/B50-1.5	1.5			
W/B50-2.0	2.0			
W/B55-0.0	0.0	0.55		21.0
W/B55-0.5	0.5			
W/B45-0.0	0.0	0.45		27.0
W/B45-0.5	0.5			

Table 2 Fundamental Properties of SWP-2

Components ingredient		Appearance	pH	Specific gravity
Principle ingredient	Accessory ingredient			
Fluosilicic acid, soluble silica	Aromatic compound high molecular condensate, nitrate	Dark brown, aqueous solution	2.8	1.16

첨가 효과 및 적정 첨가율에 대한 신뢰성을 검증하고자 하였다. 콘크리트 재료배합은 시멘트의 10%를 플라이애쉬(fly ash)로 치환된 것을 기본배합으로 하였으며, 시멘트는 비중 3.15, 분말도 3,300 cm²/g의 1종 보통포틀랜드시멘트이고, 플라이애쉬는 보형산이며, 비중 2.12 분말도 2,976 cm²/g, 강열감량 4.1%의 것을 사용하였다. 골재는 강모래(비중 2.57) 및 쇠석(비중 2.67)을 사용하였으며, 규불화염계 복합 조성물의 특성은 Table 2와 같다.

2.2 실험 방법

2.2.1 콘크리트의 균열 평가

소성수축에 의한 콘크리트의 균열 평가는 ACI Materials Journal의 소성수축 균열에 의한 균열 특성 시험⁹⁾에 준하여 실시하였다. Fig. 1과 같이 시험체의 성형몰드는 600×600×50 mm의 판상형태인 형강으로 테두리를 설치하고, 구속력을 높이기 위하여 D10철근을 관통시켜 볼트로 고정하여 수축균열을 인위적으로 발생시켰다. 또한, 시험체의 수축이 자유롭도록 몰드 바닥에 비닐막을 설치하고, 균열 발생을 촉진시키기 위해 시험체를 28±3℃의 온도와 40±5%의 상대습도에 노출시킨 상태에서 시험체 표면에 풍속 4.5~5.0 m/s로 일정한 조건을 유지시켜 시험을 실시하였다. 균열 관찰은 시험체 제조시 부터 12시간 간격으로 균열이 발생될 때까지 진행하였으며, 균열 진행 상황을 균열 폭, 균열길이, 균열면적별로 각각 비교하였다.

콘크리트의 자유(무구속)건조수축 평가는 Fig. 2와 같이 길이변화와 동일한 규격(100×100×400 mm)으로 시험체를 제작하고 매입형 게이지(PMFL-60)을 콘크리트 시험체 중앙에 매입하여 28일간 20±2℃의 수중에서 표준양생한 후

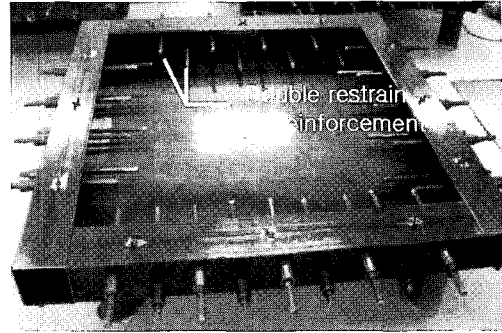


Fig. 1 Plate mold for crack evaluation

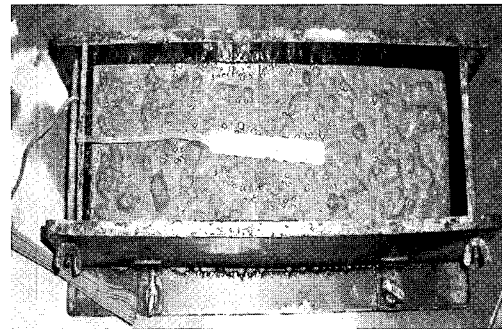
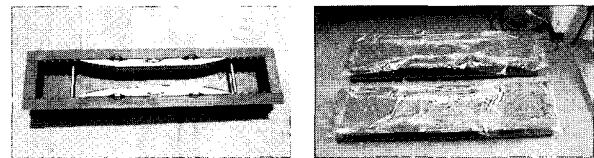


Fig. 2 Specimen for drying shrinkage of unrestrained concrete



(a) Mold of specimen (b) Specimen

Fig. 3 Specimen for drying shrinkage of restrained Concrete

향온항습실(온도 20±1℃, 습도 60±5%)에서 표준건조를 실시한 후 매입형 게이지를 이용한 Data Logger에 의해 55일까지 무구속에서의 건조수축변형을 측정하였다.

구속상태에서 건조수축평가는 JIS규격에 따라 Fig. 3과 같은 170×100×1000 mm의 구속변형 시험용 몰드를 사용하여 구속상태에서 건조수축 변형을 측정하였다. 시험체의 제작 및 양생온도는 20±3℃로 하고 습윤 상태로 7일간 양생한 후 탈형하여 온도 20±1℃ 습도 60±5%의 기건양생을 실시하여 시험체 양측면의 직선부 중앙 200 mm 이상의 위치에서 건조수축 길이를 48일간 연속적으로 측정하였다. 측정기간 중 시험체의 균열발생 여부도 함께 평가하였다.

2.2.2 콘크리트의 내구성 평가

축진 중성화시험은 KS F 4926(콘크리트 혼입용 방수제)에 준하여 실시하였고, 시험체는 콘크리트로 비빈 후 굵은 골재를 체분리한 상태에서 100×100×400 mm 규격으로 성형하였으며, 성형 후 약 24시간 경과되면 탈형하여 20±2℃

의 수중에서 27일간 양생하였다. 또한, 양생 후 시험체를 꺼내고 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 에서 24시간 동안 건조시킨 후 중성화 시험기에 넣고 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $50 \pm 5\%$, CO_2 농도 5%로 고정하고 각각 7일, 28일, 56일간 중성화를 진행시킨다. 그리고 중성화가 완료된 시험체는 콘크리트 절단기로 시험체 중간부위를 100mm 두께로 절단하고, 표면을 건조시킨 후 페놀프탈레인 1% 수용액을 시험체 표면에 도포하여 발색된 부위를 중성화된 깊이로 결정하였다.

염소이온 침투저항성을 위한 콘크리트 시험체는 $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ 입방형태로 성형하고, 양생은 시험체 성형 후 24시간 동안 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 80% 이상의 습기함속에서 정지한 후 탈형하여 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 재령 19일 까지 실시하였다. 양생이 끝난 시험체는 양면의 레이턴스를 제거한 후 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대 습도 $65 \pm 5\%$ 의 표준상태에서 함량이 될 때까지 최소 8일간 건조시키고 KS M 8115에서 규정하는 염화나트륨 2.5% 수용액에 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 7일 및 56일간 침지시킨다. 염소이온의 침지 완료 후 시험체를 꺼내어 24시간 상온에서 건조하여 시험체를 2분할하고, 그 단면에 KS M ISO 6353-2 R28에서 규정하는 질산은 0.1N 수용액을 분무하고 우라닌 1% 수용액을 분무하여 발색된 부분의 3개소를 측정하여 염소이온 침투깊이로 결정하였다.

콘크리트 동결융해저항성 시험은 KS F 2437(공명 진동에 의한 콘크리트의 상대 동 탄성계수 및 동 푸아송비의 시험 방법)에 준하여 실시하였으며, 소정의 양생기간이 끝나면 즉시 시험체를 $6 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 가로 1차 주파수 시험을 하고, 무게를 측정하였다. 사이클 수는 300 사이클로 고정하지 않고 시편별로 최초 시험시에 측정된 상대 동 탄성계수가 60% 이하가 될 때까지 지속시키기로 하였다. 이 때 동결시 -18°C , 융해시 4°C 로 동결융해 조건에서 동결융해 1 사이클의 소요시간은 4시간으로 설정하였다. 상대 동 탄성계수(P_c) 및 내구성 지수(DF)는 식(1)과 (2)에 의해 계산하였다.

$$P_c = (N_1/N) \times 100 \quad (1)$$

$$DF = PN/M \quad (2)$$

여기서, P_c : 동결융해 C사이클 후의 상대 동 탄성계수(%)

N : 동결융해 C사이클에서의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

N_1 : 동결융해 C사이클 후의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

DF : 시험용 공시체의 내구성 지수

P : N사이클에서의 상대 동 탄성계수(%)

N : 상대 동 탄성계수가 60%가 되는 사이클 수 또는 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M : 동결융해에의 노출이 끝날 때의 사이클의 수

복합열화 시험에서는 기존의 염해, 중성화 등의 단독적인 열화요인 시험을 통해 실제 콘크리트 구조물의 성능저하 현상을 정확하게 파악할 수 없기 때문에 염해, 중성화, 온도 및 습도에 대해 가장 빠른 열화를 보이는 철근부식 특성을 이용해서 상기 복합열화 요인에 대한 철근부식 면적과 중량 감소율을 측정하여 복합열화 개선효과를 평가하였다. 염해, 중성화, 온도 및 습도에 대한 제어가 가능한 복합열화 촉진시험 장치를 활용하여 CO_2 5%, 3% NaCl 수용액 분무, 온도 $0 \sim 60^\circ\text{C}$ 및 습도 $0 \sim 100\%$ 로 복합열화 환경을 조성한 후, 1사이클을 2일로 하여 50사이클까지 시험을 실시한다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 소성수축균열

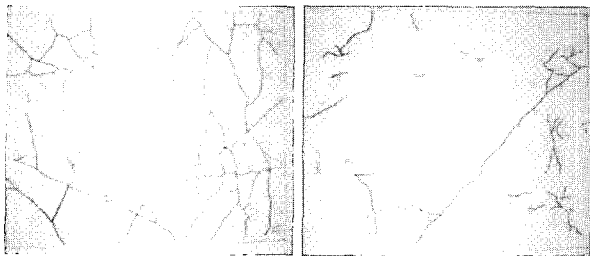
Table 3은 무첨가(W/B50-0.0) 및 SWP-2가 0.5% 첨가된 시험체(W/B50-0.5)의 표면균열 발생 패턴을 정량적으로 요약한 것이며, 실험을 통해 관측된 콘크리트 표면에서의 균열패턴은 Fig. 4와 같이 나타났다. 무첨가 콘크리트의 경우, 연속상의 망상형 균열이 시험체 표면 전체에서 관측된 반면, SWP-2가 0.5% 첨가된 콘크리트는 비연속상의 균열이 국부적으로 관찰되었으며, 균열개수에서는 약 66%, 균열길이는 약 59%, 균열면적에 있어서는 83% 정도 저감되는 것으로 측정되었다.

균열폭은 W/B50-0.0시험체에서는 0.1~2mm의 큰 폭의 균열까지 발생된 반면, W/B50-0.5에서는 0.3mm이하의 미세균열이 관찰되었다. 이것은 SWP-2의 주요성분인 규불화염 및 가용성 실리카의 혼입으로 수밀성이 크게 개선됨으로써 풍속이 수반된 상태 및 가온-절건상태의 가혹한 조건 하에서도 시험체 표면부에서의 수분의 급격한 손실을 억제함으로써 경화이전 소성수축은 물론 경화이후 건조수축에 의한 균열발생이 효과적으로 제어된 결과로 판단된다. 한편, 콘크리트의 W/B 변화에 따른 영향에서는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 W/B에 관계없이 무첨가 시험체에 비해 SWP-2를 첨가함으로써 콘크리트의 균열발생이 감소되었다. 또한, SWP-2를 첨가한 시험체에 있어서도 W/B에 관계없이 균열이 감소되었으며, 특히 무첨가 시험체가 연속상의 망상형 균열이 발생된 반면 SWP-2를 첨가한 시험체는 대부분 비연속상의 미세균열이 국부적으로 관찰되었으나 W/B가 증가되면서 균열발생 부위가 약간씩 증가되는 경향을 보였다.

무첨가 시험체의 경우에는 2mm 이내의 관통균열까지 관찰되었으나 SWP-2를 첨가한 시험체는 균열 폭이 약 0.1~0.3mm정도인 미세균열들이 대부분 관찰되어 W/B변화에 관계없이 규불화염계 복합 조성물의 첨가로 콘크리트의 균열이 저감되는 효과를 확인되었다.

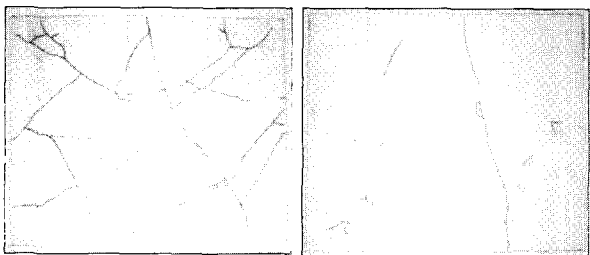
Table 3 Quantitative evaluations of crack in specimen surface

Specimen	Crack numbers(ea)	Crack length(mm)	Crack areas(mm ²)	Crack width (mm)
W/B50-0.0	44	2278.7	1924.5	0.1~2
W/B50-0.5	15	930.1	320.9	0.1~0.3



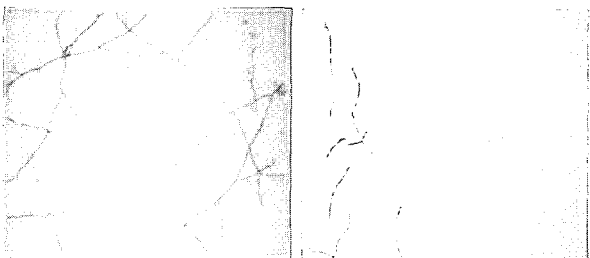
(a) W/B50-0.0

(b) W/B50-0.5



(c) W/B50-0.0

(d) W/B50-0.5



(e) W/B45-0.0

(f) W/B45-0.5

Fig. 4 Comparison of crack pattern in concrete

3.2 건조수축률

Fig. 5는 콘크리트의 자유건조수축 변화를 나타낸 것으로, 무구속 상태에서 SWP-2의 첨가로 건조수축 길이가 감소되었으며, 특히, 첨가량을 고려할 때 0.5%의 첨가로도 약 12% 이상 건조수축이 억제되는 것으로 나타났다. 이는 SWP-2의 수밀성 개선효과¹¹⁻¹²⁾에 의해 자유수 및 모세관 내 응축수의 급격한 손실을 억제시킨 결과 때문인 것으로 판단된다. Fig. 6에서는 SWP-2의 첨가로 구속상태에서도 건조수축이 저감되는 특성을 보였으며, 무첨가 콘크리트가 양생 39일에서 균열이 발생된 반면 SWP-2를 첨가한 시험체는 48일까지도 균열이 발생되지 않았다. 이는 전술한 수밀성 증진 효과에 의해 건조수축에 대한 저항성이 향상된 결과, 구속된 상태에서 유도되는 균열 발생도 효과적으로 제어됨을 암시하는 결과로 판단된다.

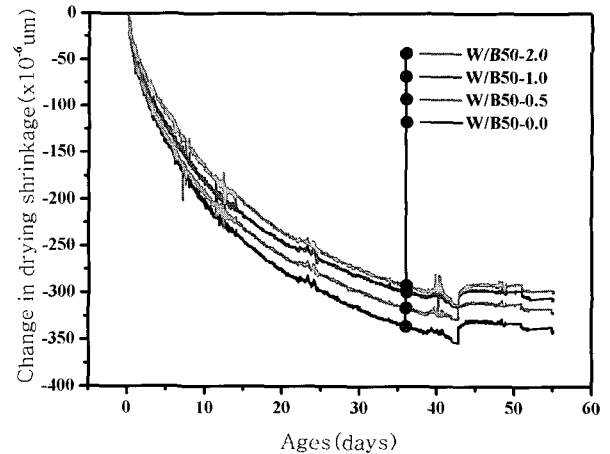


Fig. 5 Drying shrinkage variations according to ages in unrestrained concrete

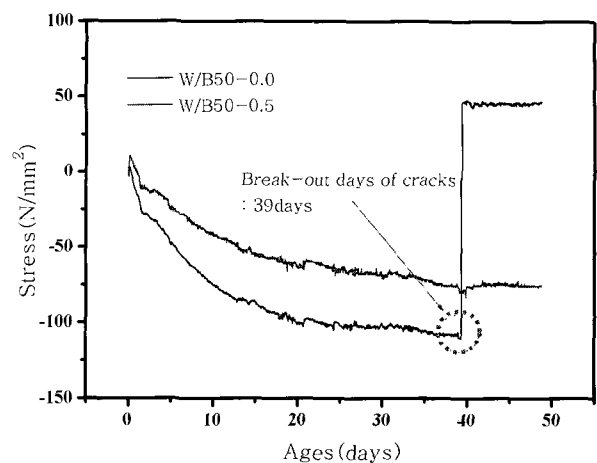


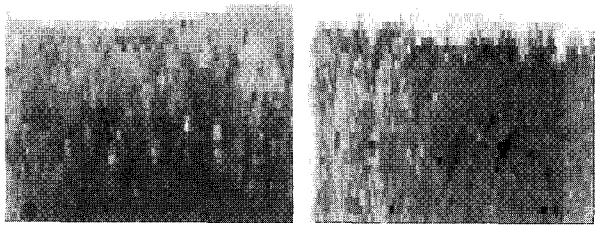
Fig. 6 Drying shrinkage variations according to ages in restrained concrete

3.3 내구성

3.3.1 축진 중성화

Fig. 7에 나타난 바와 같이, W/B50-0.0의 경우 7일→28일→56일간 중성화시킴에 따라 중성화 깊이가 각각 3.8 mm→7.4 mm→9.6 mm로 중성화 깊이를 나타내고 있다. 한편, W/B50-0.5시험체는 7일→28일→56일간 중성화시킴에 따라 2.5 mm→6.1 mm→7.4 mm의 중성화 깊이를 나타내었다. 따라서, 7일에서는 34.2%, 28일에 17.6%, 56일에서는 22.9%정도 중성화 침투깊이가 억제되어 재령에 관계없이 SWP-2의 첨가에 의해 중성화가 크게 억제되는 것으로 확인되었다. 이는 SWP-2의 첨가에 의해 콘크리트 경화체의 수밀성이 증진되어 CO₂ 가스의 침투저항성이 크게 향상된 결과로 판단된다.

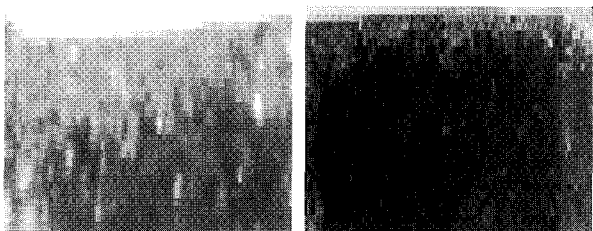
Fig. 8은 콘크리트 W/B 변화에 따른 축진 중성화의 평가결과를, Fig. 9는 재령 56일에서의 W/B45-0.0, W/B45-0.5, W/B55-0.0 및 W/B55-0.5의 축진 중성화 측정사진을 나타낸 것이다. 콘크리트의 중성화깊이는 W/B 및 SWP-2



(a) W/B50-0.0(7days) depth of neutralization:3.8 mm (b) W/B50-0.5(7days) depth of neutralization:2.5 mm



(c) W/B50-0.0(28days) depth of neutralization:7.4 mm (d) W/B50-0.5(28days) depth of neutralization:6.1 mm



(e) W/B50-0.0(56days) depth of neutralization:9.6 mm (f) W/B50-0.5(56days) depth of neutralization:7.4 mm

Fig. 7 Depths of neutralization

첨가 유무에 관계없이 축진 재령이 경과할수록 증가되었으며, SWP-2의 첨가에 의해 중성화 깊이가 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 중성화에 대한 저항성능은 재령이 경과할수록 더욱 현저한 것으로 나타났다.

3.3.2 염소이온 침투저항성

Figs. 10 과 11은 염소이온 침투깊이(C.I.P.D : chloride

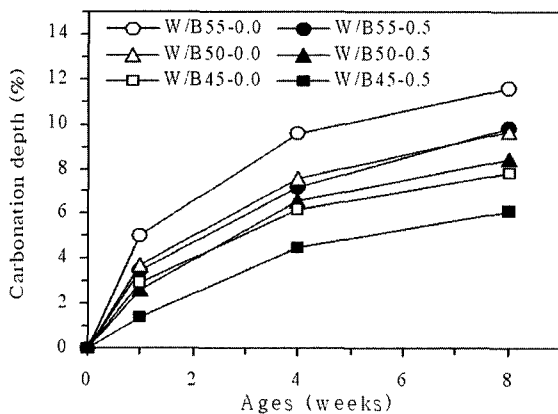
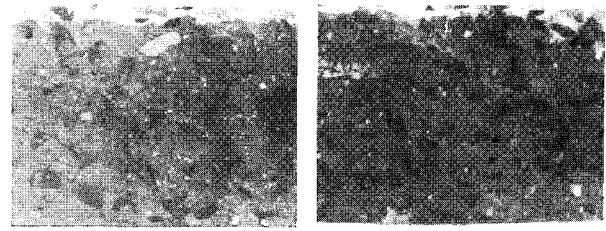
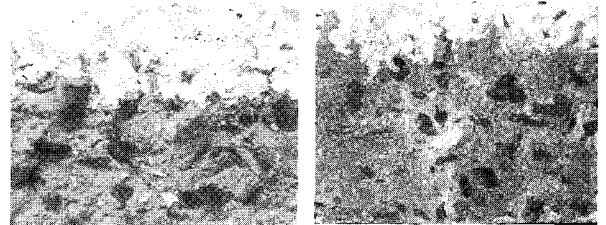


Fig. 8 Relation of carbonation depth and ages according to compressive strength of concrete



(a) W/B45-0.0(56days) depth of neutralization:7.7 mm (b) W/B45-0.5(56days) depth of neutralization:5.9 mm



(a) W/B55-0.0(56days) depth of neutralization:11.7 mm (b) W/B55-0.5(56days) depth of neutralization:9.8 mm

Fig. 9 Depths of neutralization

ion penetration depth)를 나타낸 것으로, 양생 28일 후 56일간 침지시킨 시험체의 염소이온 침투깊이를 W/B 및 SWP-2의 첨가유무에 따라 측정된 결과이다. W/B55-0.0, W/B50-0.0 및 W/B45-0.0시험체의 염소이온 침투깊이는 각각 25mm, 16mm 및 8mm로 측정되었으며, W/B의 감소에 따라 침투깊이가 감소되는 경향을 보였다.

한편, W/B55-0.5, W/B50-0.5 및 W/B45-0.5시험체의 경우에는 염소이온 침투깊이가 각각 15mm, 10mm 및 5mm로 측정되어 SWP-2를 0.5% 첨가함으로써 각각 40%, 37.5% 및 37.5%씩 염소이온 침투저항성이 향상됨을 알 수가 있었다.

이러한 효과는 SWP-2 첨가로 난용성 금속불화물의 최밀 충전작용에 의해 의한 콘크리트의 경화조직의 수밀성 증진이 직접적인 원인인 것으로 판단된다.

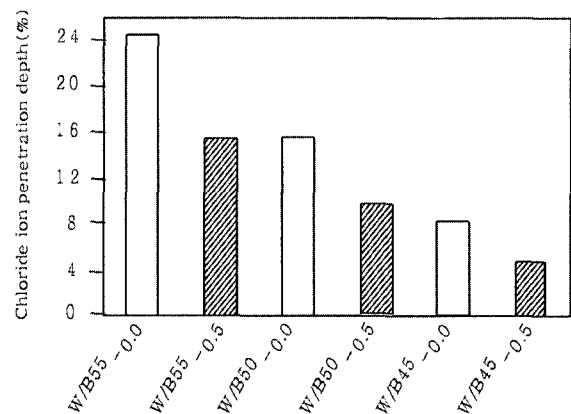


Fig. 10 Chloride ion penetration depth

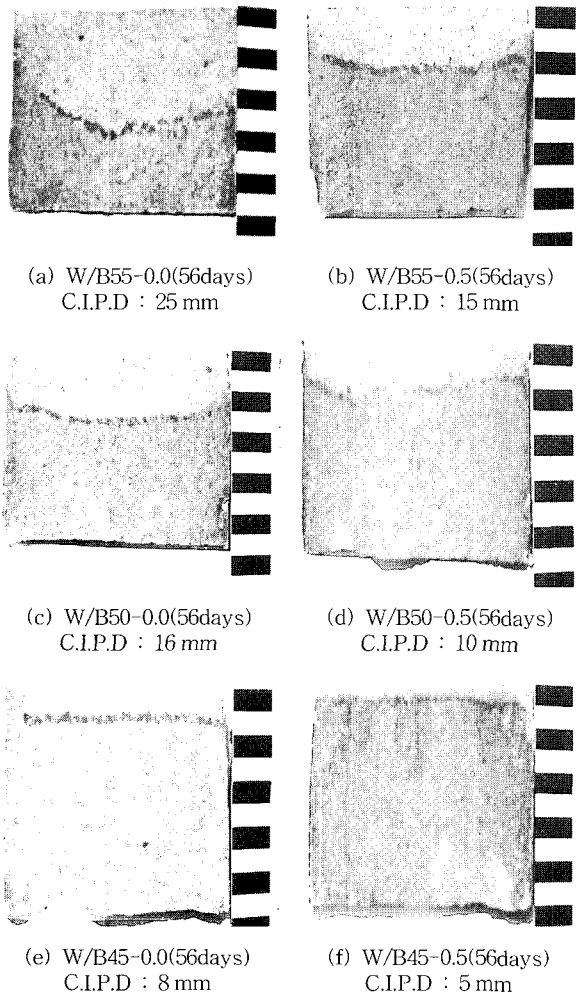


Fig. 11 Chloride ion penetration depth

3.3.3 동결융해저항성

동결-융해 사이클에 따른 동탄성계수 변화와 SWP-2첨가율에 따른 내구성 지수의 시험 결과를 Figs. 12와 13에 나타내었다. 동일 사이클에서 SWP-2가 첨가된 시험체의 상대 동탄성 계수가 무첨가 시험체에 비해 높게 나타났으며, W/B50-0.5 및 W/B50-1.0 시험체는 300사이클에서 60% 이상의 동탄성계수를 나타냈다. 그리고, 동결융해 반복 사이클에 따른 동결융해 저항성은 SWP-2의 첨가에 의해 20~60%가량 향상되었다. 이는 SWP-2에 함유된 규불화염 및 가용성 실리카가 시멘트 수화과정에서 콘크리트 경화조직을 수밀화 시키는 작용과 수축 및 온도응력에 의한 균열 발생을 감소시키는 복합적 효과에 의해 향상된 것으로 판단된다. 그러나, SWP-2를 1.5% 이상 과잉 첨가시에는 콘크리트 경화조직 중 공극 및 간극에 대한 과도한 충전작용이 콘크리트 인장응력을 초과하거나 경화 후 팽창압을 유발함으로써 반복적인 동결-융해에 따른 균열 발생을 유도하여 동탄성계수가 저하된 것으로 판단된다. 마지막으로 내구성 지수를 평가한 결과 SWP-2를 0.5%(56.2%), 1.0%(58.1%) 첨가한 것이 상대적으로 내구성 지수가 높게

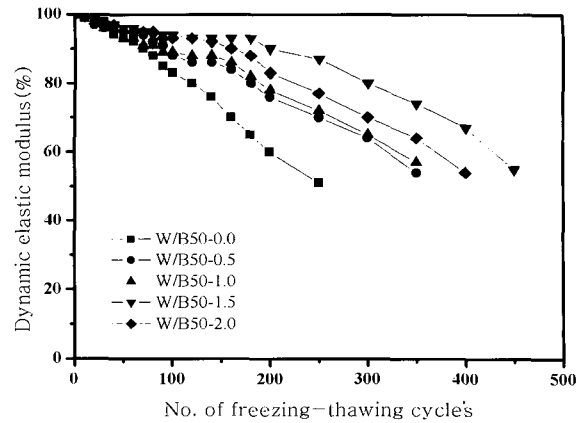


Fig. 12 Freezing thawing cycle by dynamic elastic modulus

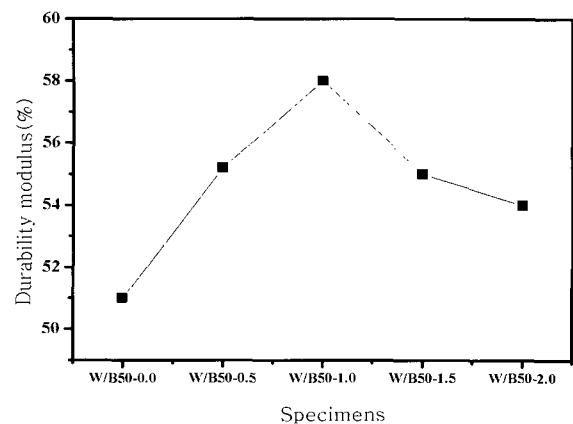


Fig. 13 Durability modulus by ratio of SWP-2

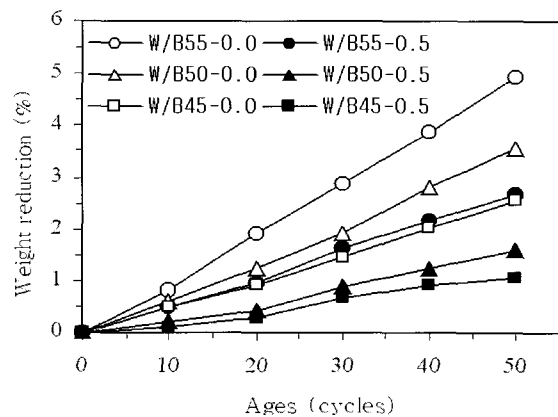


Fig. 14 Weight reduction according to reinforcement corrosion

나타났으며, 1.5% 이상 첨가하면 오히려 저하되는 경향을 보였다.

3.3.4 복합열화조건에서의 철근 부식특성

Fig. 14는 철근의 중량 감소율을 나타낸 것으로 SWP-2를 첨가함으로써 철근의 중량감소가 크게 작아지는 것을 알 수가 있다. 또한, Fig. 15에서는 철근부식 면적의 변화를 나타내고 있으며, SWP-2를 첨가함으로써 규불화염계

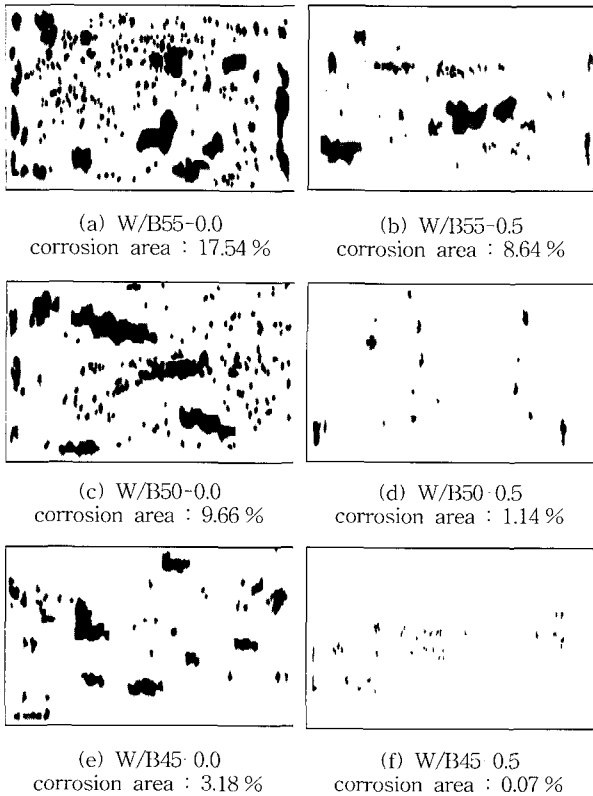


Fig. 15 Comparison of corrosion area in reinforcement

복합조성물에 함유된 Zn, Mg의 표준환원 전위가 Fe보다 낮아 Fe보다 먼저 산화되는 희생양극효과(Sacrificial Anode Effect)¹⁰⁾ 및 철근표면에 SiO₂-FeF₂ 복합조성의 보호피막 형성효과에 의해 철근부식이 억제되어 철근 중량감소는 약 50% 이상 크게 줄일 수 있었으며, 철근 부식면적도 현저히 저감되는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

규불화염계 복합 조성물을 콘크리트에 첨가하여 콘크리트의 공학적 특성에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) W/B의 증가되면 소성수축 균열이 증가되었으나 규불화염계 복합 조성물의 첨가로 W/B의 변화와는 관계없이 콘크리트의 소성수축 균열이 저감되는 것으로 관찰되었다.
- 2) 무첨가 콘크리트에 비해 규불화염계 복합 조성물 첨가로 콘크리트의 중성화, 동결융해저항성 및 염소이온침투에 대한 저항성이 향상됨으로써 콘크리트의 내구성 개선에 효과적임을 알 수 있었다.
- 3) 복합염화 환경에서 철근의 중량감소는 부식재령에 증가됨에 따라 W/B의 증가로 커지는 경향을 보였으며, 무첨가 콘크리트에 비해 규불화염계 복합 조성물이 첨가된 콘크리트에서 약 50% 이상 저감되는 특성을 보였으며, 철근부식 면적에서도 거의 유사한 경향을 나타냈다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 실시하는 2004년 중소기업혁신기술개발사업(과제명 : 콘크리트 혼화용 규불화염계 균열저감제의 상용화 기술개발)에 따른 연구성과물로서 이에 대한 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. O. Kim, J. H. Nam, D. S. Kim, B. S. Khil, and B. K. Lee, "Changes in Hydration and Watertightness of Cement Containing Two-Component Fluosilicate Salt Based Chemical Admixture(in Kor.)", *J. Kor. Ceram Soc.*, Vol.41, No.10, 2004, pp.749~755.
2. J. R. Lee, J. O. Kim, S. G. Han, Y. S. Kang, B. S. Khil, and J. H. Nam, "Experimental Study on the Watertightness and Hardening Properties of Concrete using Fluosilicate Salt Based Chemical Admixture", *Proc. of the Korea Concrete Institute*, Vol.16, No.1, 2004, pp.36~39.
3. ACI Committee 318, *Building Code Requirement for Reinforcement Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, 1995, pp.57~62.
4. M. H. Grant, *Fluorine Chemistry(A Comprehensive Treatment)*, A Wiley Interscience Publication, New York, 1994. pp.83~95.
5. S. H. Han, K. H. Lee, S. C. Jung, and N. H. Kim, "The Effects of Hydration Retarding of Portland Cement by MgSiF₆·6H₂O(in Kor.)", *J. Kor. Ceram Soc.*, Vol.34, No.2, 1997, pp.163~170.
6. M. H. Grant, *Fluorine Chemistry(A Comprehensive Treatment)*, A Wiley Interscience Publication, New York, 1994. pp.83~95.
7. J. O. Kim, J. H. Nam, D. S. Kim, B. S. Khil, and B. K. Lee, "Changes in Hydration and Watertightness of Cement Containing Two-Component Fluosilicate Salt Based Chemical Admixture(in Kor.)", *J. Kor. Ceram Soc.*, Vol.41, No.10, 2004, pp.749~755.
8. P. Paulini, "Reaction Mechanism of Concrete Admixture", *Cement and Concrete Research*, Vol.20, No.1, 1990, pp.910~918.
9. Christos A. Shaelles and Kenneth C. Hover, "Influence of mix proportions and Construction Operations on Plastic Shrinkage Cracking in Thin Slabs", *ACI Materials Journal*, Vol.85, No.7, 1988, pp.495~504.
10. C. Arya and F. K. Ofori-Darko, "Influence of Crack Frequency on Reinforcement Corrosion on Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vo.26, No.3, 1996, pp.130~137.

11. 양일승, 윤현도, 김도수, 길배수, 한승구, “규불화염계 복합조성물을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 논문집, 17권 5호, 2004, pp.767~772.
12. 강성웅, 양일승, 한병찬, 김도수, 길배수, 윤현도, “규불화염계 균열저감제를 이용한 균열저감 특성”, 한국 콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 16권 2호, 2004, pp.289~292.
13. JIS 원안, 콘크리트의 건조수축균열 시험방법(안), 일본규격협회(JSA), 2003.
14. KS M 8115(KS M ISO 6353-2), 염화나트륨 시약, 한국표준협회, 2002. 11.
15. KS M ISO 6353-2, 질산은시약, 한국표준협회, 2003. 12.
16. KS F 2437, 공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수 및 동 푸아송비 시험방법, 한국표준협회, 2003. 11.

요 약

콘크리트에 균열이 발생하면 구조물의 구조적인 결함, 내구성 저하, 외관손상 등을 유발하여 치명적인 손실을 초래하기 때문에 균열제어를 통한 내구성능의 증대가 필수적이다. 국내 콘크리트 구조물의 동향을 살펴보면 LCC개념에 비추어 구조물의 신축비용이 25%에 불과하고, 다양한 형태의 균열보수, 개수, 유지관리 및 폐기처분에 대한 비용이 75%를 차지함에 따라 구조물의 시공시 콘크리트의 균열발생과 시공 후 콘크리트 내 철근부식을 억제하는 기술이 요구된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 1990년대 후반부터 인산(H₃PO₄) 및 불산(HF)을 제조하는 공정 중에 액상형태의 부산물로 회수되는 불화규산(H₂SiF₆)을 활용하여 안정한 액상형태로 제조되는 규불화염계 화합물에 의한 균열저감 특성과 내구성에 대한 검토를 수행한 결과, 규불화염계 무기 조성물의 첨가로 수밀성이 증진되어 치밀한 경화조직을 형성함으로써 경화 후 급격한 수분의 손실에 따른 경화수축이 억제되어 건조수축을 저감시키는 특성을 발휘하였다. 또한 수화온도 및 수축 저감에 의해 초기에 균열발생을 억제하고, 수밀성을 증진시킴으로써 중성화, 동결융해저항성 및 염소이온침투깊이에 있어서 무첨가 콘크리트에 비해 상당히 개선되는 효과를 확인하였다. 마지막으로, 콘크리트 변형이 크게 발생하는 복합열화 환경 하에서도 SWP-2에 의한 내구성 향상 효과가 확인되었다.

핵심용어 : 규불화염계 복합 조성물, 균열제어, 건조수축, 수밀성, 내구성