

# 혹한지역 기초 콘크리트의 내구성 향상을 위한 실험 연구

## An Experimental Study on the Improvement of Durability for the Foundation Concrete under Cold Weather Condition

우 상 균\*  
Woo, Sang Kyun

송 영 철\*\*  
Song, Young Chul

김 경 민\*\*\*  
Kim, Kyung Min

한 천 구\*\*\*\*  
Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

The purpose of this study is to provide the optimum mix design of cold weather concrete to be placed at the foundation structures in substation. The basic performance tests including slump and slump flow, air content, compressive strength and freezing & thawing resistance were conducted for cold weather concrete by varying with W/C ratios such as 40%, 50% and 60% and air contents such as 3%, 4%, 5% and 6%. The effect on durability of concrete corresponding to the increasing amount of air content and W/C ratio was evaluated and the optimum mix design was recommended. From this study, the concrete mix design containing 6% of air content and 45% of W/C ratio is recommended for the foundation concrete of substation.

### 1. 서론

태백 지역과 같은 고랭지에 콘크리트 구조물이 건설될 경우에는 콘크리트 내부의 물이 동결과 융해가 반복됨에 따라 동해피해가 발생하기 쉽다. 특히, 겨울철 낮은 기온에 노출되는 콘크리트는 심한 일교차 및 삼한사온과 같은 냉온간의 반복작용에 따른 동결융해 작용으로 심한 손상을 입을 수 있는데, 기온이 1년 중 0°C 이하를 수십회 이상 변동하는 지역에서 특히 심각하다.

이러한 기후조건에서 콘크리트의 내구성은 주로 콘크리트의 내동해성에 의하여 결정되는데, 콘크리트의 내동해성은 시멘트 페이스트 및 골재의 내동해성에 영향을 받는다. 내동해성을 향상시키는 방법으로는 물·시멘트비를 작게 하거나, 공기를 연행시킴으로써 시멘트 페이스트의 내동해성을 향상시킬 수 있다.

이러한 동해는 경화콘크리트 중에 수분의 동결융해 작용이 반복됨에 따라 균열, 박리 등 성능저하 현상을 일으키는데, 동해 열화현상의 기본인 팽창성 동해는 시멘트페이스트의 조직을 팽창시키고 콘크리트가 팽창하려고 할 때 미세한 균열이 콘크리트 표면에 존재할 경우 동결융해 작용이 반복된다면 이로 인한 팽창력이 인장력으로 작용하여 균열이 확대되어, 어느 한계를 넘게 되면 그 콘크리트는 붕괴에 이르게 된다. 이러한 열화를 방지하기 위해서는 AE제를 사용하여 적정 공기량을 확보하는

\* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

\*\* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

\*\*\* 정회원, 고려산업개발(주) 연구개발실 연구원

\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수

방법이 매우 유효한 방법이 된다.

본 연구는 태백지역에 건설될 변전소 기초콘크리트 구조물을 대상으로 하고 있는데, 이 지역은 해발 950m에 위치한 고지대로서 동절기 평균 기온이  $-19^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ , 최대 풍속 95m/sec, 평균 적설량 2cm 등으로 인해 많은 시공상의 제약과 콘크리트 품질을 확보하는데 매우 열악한 환경에 놓여 있다.

이 같은 열악한 조건을 고려하고 실험을 통하여 물·시멘트비 및 공기량 변화에 따른 콘크리트의 내동해성을 분석·검토함으로써 궁극적으로 내동해성이 우수한 최적의 콘크리트 배합을 도출하였다.

## 2. 실험 내용

### 2.1 개요

본 연구는 물·시멘트비 및 공기량 변화에 따른 내동해성을 규명하기 위한 것으로, 실험은 물·시멘트비를 일반 조건인 50%, 고강도 조건인 40%, 그리고 저강도 조건인 60%의 3수준에 대하여 AE 공기량 변화를 3, 4, 5 및 6%의 4수준으로 계획하여 실험을 수행하였다.

굳지않은 콘크리트의 특성 분석으로는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적 중량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 재령별 압축강도, 상대동탄성계수, 길이변화, 중량변화율 등을 분석함으로써 내동해성 확보를 위한 콘크리트의 최적배합비를 도출하였다.

### 2.2 실험재료

#### 2.2.1 시멘트

시멘트는 한국공업규격(KS L 5201)에 적합한 국내에서 생산된 1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 : 3.14, 분말도 :  $3,370 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 안정도 : 0.08 %)를 사용하였다.

#### 2.2.2 잔골재 및 굵은 골재

본 실험에 사용한 골재는 강모래(비중 : 2.56, 흡수율 : 1.25 %, 단위용적중량 :  $1,621 \text{ kg/m}^3$ ) 및 25mm 쇄석(비중 : 2.72, 흡수율 : 0.52 %, 단위용적중량 :  $1,567 \text{ kg/m}^3$ )을 사용하였다.

#### 2.2.3 혼화제

AE감수제 및 분리저감형 유동화제는 나프탈렌계(비중 : 1.18) 및 멜라민계(비중 : 1.20)를 사용하였다.

### 2.3 실험방법

변전소 기초 콘크리트에 시공 예정인 일반 콘크리트 배합은 표 1과 같으며, 본 연구에서는 이를 기본 배합으로 하여 물·시멘트비는 40, 50, 60%, 공기량은 3, 4, 5 및 6% 로 각각 나누어, 관련 규정에 따라 기본 물성 및 동결융해 저항특성 실험을 수행하여 혹한지역 한중 콘크리트에 적합한 최적 배합표를 제시하였다.

표 1 일반 콘크리트 배합표

| 설계기준 강도 (MPa) | Max. Size (mm) | Slump (cm) | Air(%)  | W ( $\text{kg/m}^3$ ) | C ( $\text{kg/m}^3$ ) | W/C (%) | S/a (%) | S ( $\text{kg/m}^3$ ) | G ( $\text{kg/m}^3$ ) | AD ( $\text{kg/m}^3$ ) |
|---------------|----------------|------------|---------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 21            | 25             | 8±1.5      | 4.5±1.5 | 172                   | 322                   | 53.5    | 45.7    | 834                   | 1,046                 | 1.58                   |

### 2.3.1 슬럼프 및 슬럼프 플로우

굳지 않은 콘크리트의 유동성을 평가하기 위한 것으로, 슬럼프 시험은 KS F 2402 규정에 의거 수행하였으며, 슬럼프 플로우는 슬럼프 플로우의 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균값을 슬럼프 플로우치로 산정하였다.

### 2.3.2 공기량 및 단위용적중량

공기량 시험은 KS F 2421 규정의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법으로 측정하였고, 단위용적중량 시험은 KS F 2409의 중량방법을 이용하여 측정하였다.

### 2.3.3 압축강도

압축강도 시험용 공시체는 KS F 2403 에 따라 각 배합별로 3개씩 제작하였으며, 시험은 KS F 2405에 따라 수행하였다.

### 2.3.4 동결융해

본 실험은 특정 동결융해 사이클에 대한 콘크리트의 동결융해 저항성을 분석하기 위한 것이다. 실험은 KS F 2456(Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) 방법을 근거로 콘크리트 시편에 간극수의 빙점 이하의 온도(-18℃) 및 빙점 이상의 온도(4℃)를 주기적으로 가하여 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 슬럼프 및 슬럼프 플로우

물·시멘트비 및 공기량 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우 실험결과는 그림 1 및 그림 2 와 같다.

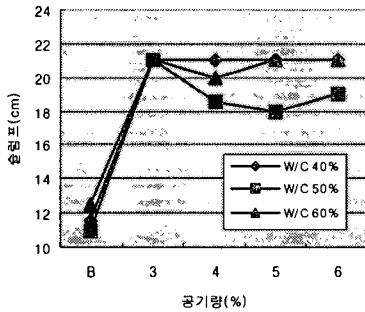


그림 4 물·시멘트비 및 공기량별 슬럼프

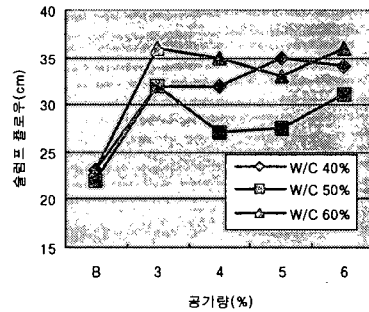


그림 5 물·시멘트비 및 공기량별 슬럼프 플로우

슬럼프의 경우, 유동화제를 혼입하지 않은 베이스의 경우 목표로 하였던 12±1cm를 만족하는 것으로 나타났고, 분리저감형 유동화제로 유동화시킨 경우 19cm~21cm를 나타냄으로써 양호한 유동성을 발휘하였다. 그러나, 공기량 변화에 따른 슬럼프는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

슬럼프플로우의 경우, 물·시멘트비 40%인 경우 공기량이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었고, 물·시멘트비 50% 및 60%인 경우에는 다소 감소하는 경향을 나타내었지만 모두 목표치에 만족하는 양호한 유동성을 나타내었다.

### 3.2 공기량 및 단위용적중량

물·시멘트비 및 공기량 변화에 따른 공기량 및 단위용적중량 실험결과는 그림 3 및 그림 4 와 같다.

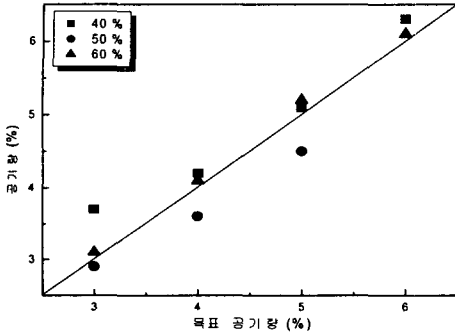


그림 6 목표 공기량과 측정 공기량 비교

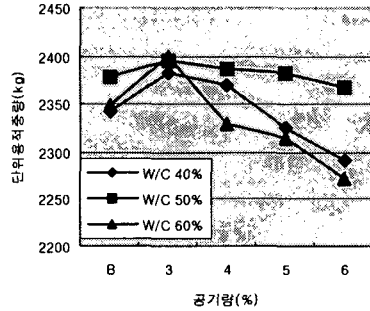


그림 7 물·시멘트비 및 공기량별 단위용적중량

그림 3 은 목표 공기량에 대한 실제 측정 공기량을 비교한 것으로, 물·시멘트비 40%의 목표 공기량 3%인 경우에는 3.7%로 측정되어 다소 크게 나타났지만, 전반적으로 목표로 하였던 공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 한편, 목표 공기량 변화에 따른 단위용적중량의 경우, 공기량이 증가할수록 단위용적중량은 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.3 압축강도

그림 5 는 재령 및 공기량 변화에 따른 압축강도를 물·시멘트비별로 나타낸 것으로써, 각 재령별 압축강도는 물·시멘트비가 작을수록, 공기량이 작을수록 압축강도는 크게 나타났다. 또한, 경화콘크리트의 일반적인 특성처럼 재령이 경과할수록 압축강도는 크게 나타났으며, 유동화 시키기 전인 베이스의 경우와 유동화후의 경우도 압축강도에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 공기량 변화에 따른 압축강도는 각각의 물·시멘트비에서 공기량이 작을수록 압축강도가 크게 나타났다. 한편, 물·시멘트비 60%인 경우 재령 3일의 압축강도가 작게 나타났으며, 특히 공기량 6%인 경우에는 10 MPa을 나타내어 한중콘크리트 시공시 초기강도를 요하는 곳에는 부적합할 것으로 판단된다.

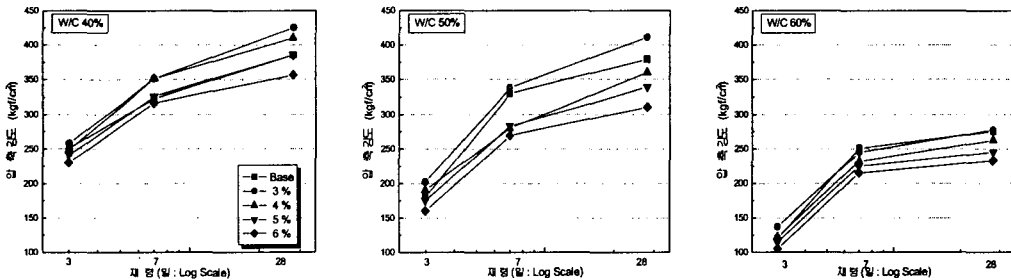


그림 5 물·시멘트비 및 공기량 변화에 따른 재령별 압축강도 특성

### 3.4 동결융해

그림 6은 동결융해 사이클수에 따른 상대동탄성계수를 나타낸 것이다. 실험결과, 물·시멘트비 40% 및 50%의 공기량 5% 이상에서는 내동해성이 양호한 것으로 나타났으나, 물·시멘트비 50%의 공기량 5% 이하 및 물·시멘트비 60%에서는 동결융해 사이클이 300회에도 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

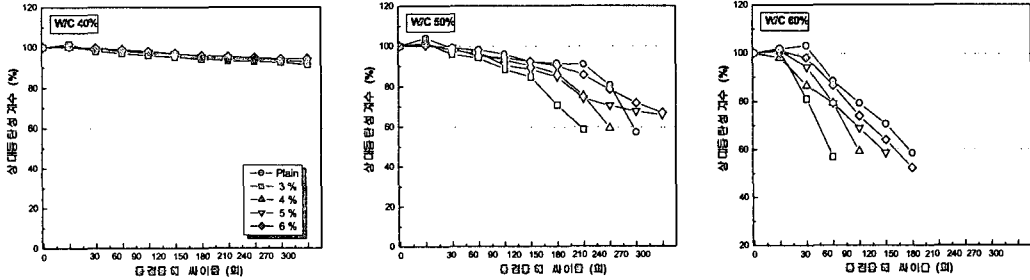


그림 6 동결융해 사이클수에 따른 상대동탄성계수

### 3.5 길이변화율

그림 7은 동결융해 사이클수 증가에 따른 물·시멘트비별 길이변화율을 측정결과를 나타낸 것이다. 실험결과, 동결융해 사이클수가 증가할수록, 물·시멘트비가 커질수록 길이변화율이 큰 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트 경화체 조직의 체적 팽창에 기인한 것으로 분석된다.

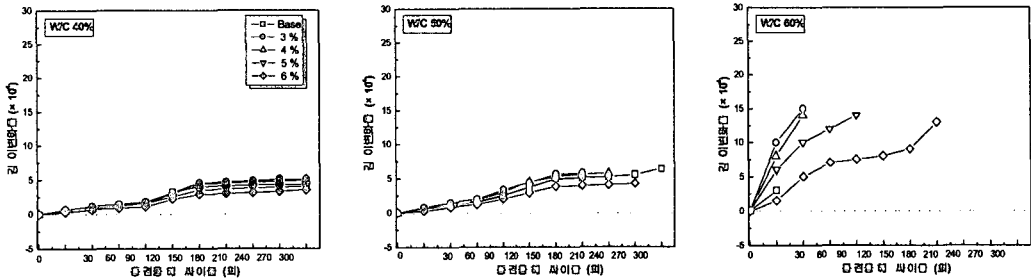


그림 7 동결융해 사이클수에 따른 길이변화율

### 3.6 무게감소율

그림 8은 동결융해 사이클수 증가에 따른 물·시멘트비별 무게감소율을 측정결과를 나타낸 것이다. 실험결과, 물·시멘트비가 작을수록, 공기량이 많을수록 변화량이 적게 나타났다.

### 3.7 종합고찰

실험결과 후한지역 기초 콘크리트 건설공사에 내동해성을 갖는 콘크리트의 배합은 물·시멘트비 50% 이하, 목표공기량 5% 이상이 적합한 것으로 밝혀졌다. 그러나 1999년판 한국콘크리트학회의 「콘크리트 표준시방서」에 의하면 동지역의 경우와 같은 구조물 조건에서는 물·시멘트비 50% 이하로 규정되어 있지만, 2003년 개정안에서는 이 규정이 45% 이하로 강화되고 있으므로 이와 같은 규정치를 고려하면 콘크리트 배합은 물·시멘트비 45%, 목표공기량 6% (4.5~7.5)로 설계합이 타당할 것으로 사료된다.

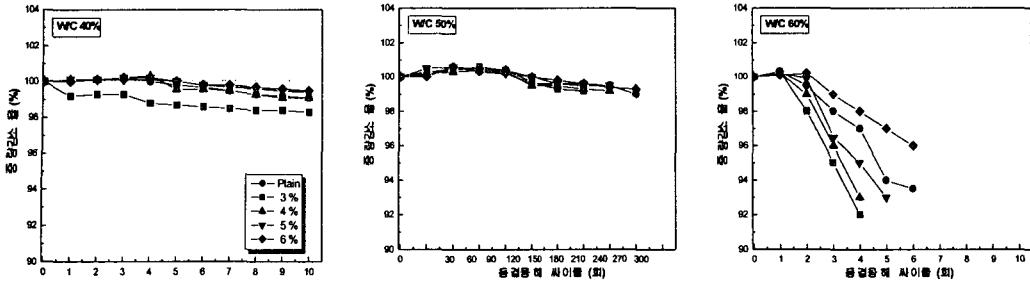


그림 8 동결융해 사이클수에 따른 무게감소율

#### 4. 결론

본 연구에서는 신태백 지역의 기후조건을 고려하여 콘크리트의 내동해성을 결정하는 여러 요소 가운데 물·시멘트비 및 공기량 변화를 변수로 하여 콘크리트의 내동해성을 분석·검토하였으며, 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 균지않은 콘크리트 실험결과, 목표로 하였던 3, 4, 5 및 6%의 공기량과 분리저감형 유동화제를 사용한 경우 목표 유동성(slump=18cm)을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 모든 배합에서 물·시멘트비가 작을수록, 재령이 경과할수록 압축강도가 증가하였다.
- (2) 상대동탄성계수 측정결과, 물·시멘트비 40% 및 50%의 경우 공기량 5% 이상에서는 동결융해에 대한 내동해성이 양호한 것으로 나타났으나, 물·시멘트비 50%의 공기량 5% 이하 및 물·시멘트비 60%에서는 동결융해 사이클수가 300회에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.
- (3) 길이변화율 측정결과, 물·시멘트비 40%에서는 공기량의 영향을 크게 받지 않았지만, 50% 및 60%의 경우에는 공기량이 증가할수록 길이변화율이 감소하였다.
- (4) 무게감소를 측정결과, 물·시멘트비 40% 및 50%에서는 큰 차이를 나타내지 않았으나, 물·시멘트비 60%의 경우에는 중량이 현저히 감소하였다.

이상의 연구결과를 통하여 물·시멘트비 45%, 공기량 6% (4.5~7.5%)에서 기초 콘크리트의 기본 물성 뿐만 아니라 내동해성 측면에서 가장 우수한 연구결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Moller, G. ; Test of Resistance of Concrete to Early Frost Action. Proc RILEM Symp, 1956.
2. Nerenst, p. ; Frost Action in Concrete, Proc.Symp, No. 2. 807-828, 1960.
3. “콘크리트 혼화재료”, 한국 콘크리트 학회, 1997.
4. “댐 차수벽용 콘크리트의 균열 및 동결융해 저항성 향상 연구”, 전력연구원, 2001.
5. “변전소 부지 안정성 평가 및 흑한지역 동계공사 방안”, 전력연구원, 2003.