

한중콘크리트의 초기 동해 방지를 위한 초기 양생기간의 산정

Determination of the Protecting Periods of Frost Damage
at Early Age in Cold Weather Concreting



한천구*

Han, Cheon-Goo



한민철**

Han, Min-Cheol

ABSTRACT

Protections from the frost damage at early ages are one of the serious problems to be considered in cold weather concreting. Frost damage at early ages brings about the harmful influences on the concrete structures such as surface cracks and declination of strength development. Therefore, in this paper, protecting periods of frost damage at early ages according to the standard specifications provided in KCI(Korean Concrete Institute) are suggested by applying logistic curve, which evaluates the strength development of concrete with maturity. W/B, kinds of cement and curing temperatures are selected as test parameters. According to the results, the estimation of strength development by logistic curve has a good agreement between calculated values and measured values. As W/B and compressive strength for protecting from frost damages at early ages increase, it is prolonged. It shows that the protecting periods of FAC(Fly Ash Cement) and BSC(Blast-furnace Slag Cement) concrete are longer than those of OPC(Ordinary Portland Cement) concrete. The protecting periods from frost damage at early age by JASS are somewhat shorter than those by this paper.

Keywords : frost damage at early age, cold weather concreting, KCI, maturity, logistic curve

* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정

· 본 논문에 대한 토의를 2000년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2000년 월 호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

최근 건설구조물이 대형화, 고층화됨에 따라 건설공사의 연중시공 활동이 점차로 증가하고 있다. 그런데, 이와 같은 겨울철 한중콘크리트의 시공에 있어서는 콘크리트 타설 후 응결 및 경화초기의 동결에 따른 초기동해 피해가 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다.

한편, 이러한 초기동해의 방지와 관련하여 우리나라 콘크리트 표준시방서⁽¹⁾의 경우 구조물의 노출조건을 고려한 후, 단면의 두께에 따라 소요의 압축강도가 얻어질 때까지로 Table 1과 같이 규정하고 있다. 또한 Table 1의 강도를 얻기에 필요한 양생일수는 시험에 의하여 정하는 것이 원칙이나 5℃ 및 10℃에서 양생할 경우의 일반적인 표준을 Table 2와 같이 시멘트의 종류별, 구조물 노출상태별 소요일수를 규정해 놓고 있는 상황으로 보다 양호한 품질관리를 위하여는 구조체 강도조건 및 예상 양생온도 단계별로 정확한 초기동해 방지기간의 설정이 요구된다.

그러므로, 본 연구에서는 시멘트 종류, W/B 및 양생온도 변화별 재령경과에 따른 강도증진을 실험한 후 적산온도에 의한 콘크리트의 강도증진을 해석한 다음, 이를 토대로 하여 시멘트의 종

Table 1 Required compressive strength for protecting frost damage at early age (kgf/cm²)(KCI)

| Expose | Section size | | |
|-----------------------------------|--------------|--------|-------|
| | thin | medium | thick |
| (1) exposed to water continuously | 150 | 120 | 100 |
| (2) not exposed to water | 50 | 50 | 50 |

Table 2 Protection period from frost damage at early age (days)

| Expose | Cement | Medium size of section | | |
|--------------------------|--------|-----------------------------------|---|-------------------------|
| | | OPC | P-RH [*] + OPC + accelerate type agent | BC ^{**} type B |
| | | (1) exposed to water continuously | 5℃ | 9 |
| | 10℃ | 7 | 4 | 9 |
| (2) not exposed to water | 5℃ | 4 | 3 | 5 |
| | 10℃ | 3 | 2 | 4 |

P-RH : High early strength portland cement
BC : Blended cement

류, 초기동해 방지를 위한 목표강도, W/B 및 양생온도에 따른 콘크리트의 초기동해방지 기간을 산정하여 콘크리트 표준시방서의 개정안의 기초자료로 제안하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 3과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 4와 같다.

Table 3 Design of experiment

| Variables | | Levels | |
|------------|--------------------|--------|--|
| Mixing | Binders | 3 | Ordinary Portland cement(OPC) Fly ash cement(FAC) Blast furnace slag cement(BSC) |
| | W/B(%) | 3 | 40, 50, 60 |
| | Slump | 2 | 21±1cm (W/B 40%) 18±1cm (W/B 50~60%) |
| | Air content | 1 | 4.5±1.5(%) |
| | Curing temperature | 4 | -10, 5, 10, 20(℃) |
| Experiment | Fresh concrete | 2 | Slump, Air content |
| | Hardened concrete | 1 | Compressive strength |

Table 4 Mix proportions of concrete

| Bind-ers | W/B (%) | S/A (%) | AE/C (%) | SP/C (%) | W (kg/m ³) | Volume(ℓ/m ³) | | | |
|----------|---------|---------|----------|----------|------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|
| | | | | | | C | F.A | S | G |
| OPC | 40 | 39 | 0.002 | 0.84 | 179 | 146 | - | 244 | 382 |
| | 50 | 39 | 0.26 | - | 182 | 116 | - | 256 | 401 |
| | 60 | 40 | 0.18 | - | 181 | 96 | - | 264 | 414 |
| FAC | 40 | 38 | 0.003 | 1.00 | 178 | 105 | 62 | 231 | 377 |
| | 50 | 39 | 0.3 | - | 182 | 81 | 49 | 251 | 392 |
| | 60 | 40 | 0.4 | - | 180 | 67 | 40 | 267 | 401 |
| BSC | 40 | 37 | 0.003 | 0.85 | 183 | 156 | - | 228 | 388 |
| | 50 | 39 | 0.4 | - | 181 | 123 | - | 254 | 397 |
| | 60 | 41 | 0.4 | - | 180 | 102 | - | 275 | 398 |

* A.E water reducing agent

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 고로슬래그 시멘트(BSC)는 고로슬래그가 30% 혼입된 국내 S사제 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다. 플라이애시 시멘트는 국내에 시판품이 없으므로 플라이애시를 국내 S사의 OPC에 30%치환하여 이용하였는데, 이때 플라이애시는 충남 보령화력산으로, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다. 골재로서 잔골재는 충남 병천산 강모래를 사용하며, 굵은 골재는 충북 괴산산 20mm 화강암 부순돌을 사용하는데, 그 물리적 성질은 Table 7과 같다.

유동성 및 공기량 확보를 위하여 사용되는 혼화제는 Table 8과 같다.

Table 5 Physical properties of cement

| Cement | Specific gravity | Blaine (cm ² /g) | Setting time(min) | | Compressive strength(kgf/cm ²) | | |
|--------|------------------|-----------------------------|-------------------|------|--|--------|---------|
| | | | Ini. | Fin. | 3 days | 7 days | 28 days |
| OPC | 3.15 | 3.412 | 237 | 341 | 245 | 301 | 346 |
| | | | 250 | 460 | 189 | 277 | 397 |
| BSC | 2.94 | 3.720 | 250 | 460 | 189 | 277 | 397 |

Table 6 Physical properties of fly ash

| Specific gravity | Blaine (cm ² /g) | Compressive strength at 28days (%) | SiO ₂ (%) | Ig. loss (%) | Moisture content (%) |
|------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------|----------------------|
| 2.23 | 3,519 | 97 | 59.6 | 3.4 | 0.3 |

Table 7 Physical properties of aggregates

| Aggregates | Specific gravity | Finess Modulus | Absorption ratio (%) | Unit weight (kg/m ³) |
|-------------|------------------|----------------|----------------------|----------------------------------|
| Fine agg. | 2.58 | 2.47 | 1.46 | 1,598 |
| Coarse agg. | 2.61 | 6.53 | 0.69 | 1,505 |

Table 8 Physical properties of chemical admixture

| Agents | Main composition | Shape | Color | S.G. (20°C) |
|--------------------------|--------------------|--------|------------|-------------|
| Superplasticizer | Melamine sulfonate | Grain | white | 1.05 |
| A.E agent | Synthetic Tensides | liquid | dark brown | 1.02 |
| A.E water reducing agent | Naphtalene | liquid | dark brown | 1.15 |

S.G. : Specific gravity

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합, 슬럼프 시험, 공기량 시험 및 압축강도 시험은 KS 규격에 의한 표준적인 방법으로 실시하였다. 단, 압축강도 측정재령은 Table 9와 같다.

Table 9 Ages and maturity for compressive strength test

| W/B | Curing temperature(°C) | | Ages and maturity | | | | | | | |
|-----|------------------------|----|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | days | DD | 3 | 7 | 14 | 28 | 56 | 96 | - | - |
| 40 | -10 | DD | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | - | - |
| | 5 | DD | 30 | 90 | 210 | 420 | 630 | 840 | 1725 | 2730 |
| 50 | 10 | DD | 30 | 90 | 210 | 420 | 630 | 840 | 1680 | 2730 |
| | 20 | DD | 30 | 90 | 210 | 420 | 630 | 840 | 1680 | 2730 |

3. 실험결과 및 분석

3.1 재령 및 적산온도에 따른 강도증진

Fig. 1은 OPC, FAC 및 BSC 콘크리트의 W/B 및 양생온도별 재령경과에 따른 강도증진 성상을 나타낸 것이다. 당연한 결과이겠지만 재령이 경과함에 따라 강도는 증진되고 W/B가 작을수록, 양생온도가 높아질수록 초기에 높은 강도증진을 보이고 있다.

시멘트의 종류별로는 OPC를 사용한 경우 양생 온도 5°C나 10°C에서 초기에는 저온에 기인하여 비교적 낮은 강도증진을 보이나 재령이 경과함에 따라 오히려 20°C의 경우보다 높은 강도증진을 나타내는 강도의 역전현상이 나타났다.

FAC 및 BSC를 사용한 경우는 OPC에 비해 양생온도 5°C 및 10°C의 경우 초기에 낮은 강도증진을 보이고 있으며 재령이 경과하여도 강도의 역전 현상이나, 커다란 강도증진은 없는 것으로 나타나고 있는데, 특히, BSC를 사용한 경우는 초기에 더욱 낮은 강도증진을 보이고 있었다. 따라서 FAC 및 BSC는 한중콘크리트와 같은 저온 환경에서의 활용에는 충분한 주의가 필요한 것으로 사료된다.

한편, 본 연구에서 적용한 적산온도식은 식 (1)과 같고, 강도증진 해석모델은 鎌田⁽²⁾에 의한

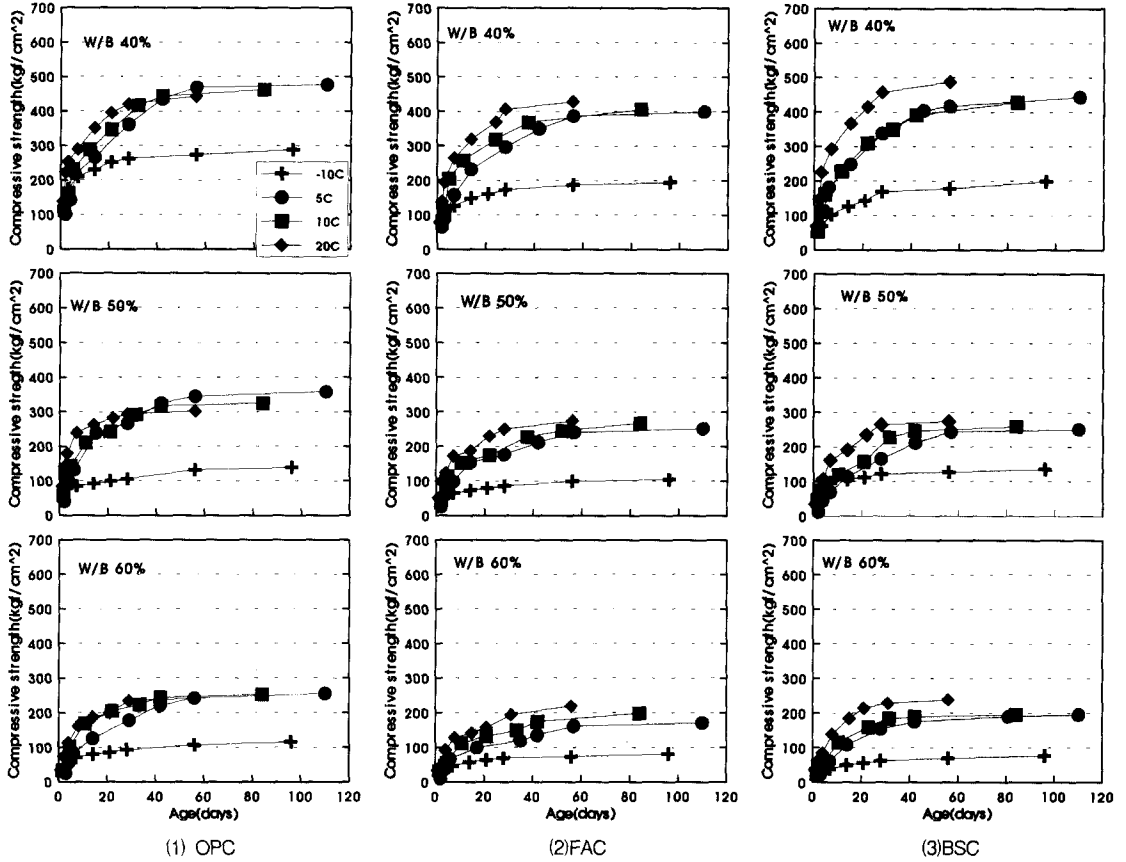


Fig. 1 Strength development of concrete using blended cement with age

로지스틱 곡선 모델식으로 식 (2)와 같다.

$$M = \sum_{0}^n (\theta_z + 10) \Delta t \quad (1)$$

여기서, θ_z : Δt 시간중의 콘크리트 온도(°C)
 Δt : 시간(일)

$$F_c = \frac{F_{\infty}}{1 + \exp(-k \cdot \log M + m)} \quad (2)$$

여기서, F_{∞} : 최종도달강도
 M : 적산온도
 k, m : 계수

Fig. 2는 로지스틱 곡선식을 이용한 OPC, FAC 및 BSC 콘크리트의 강도증진성상을 나타낸 것이다. 전반적으로 적산온도의 경과에 따라 양생온도별 강도증진은 약간의 차이는 있으나 거

의 유사함을 보이고 있다.

로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진해석의 상관성은 시멘트의 종류에 관계없이 결정계수 0.95~0.98정도이고, 표준오차는 5~25 kgf/cm² 정도로 나타나고 있어 실험에 의하여 측정된 값과 로지스틱 곡선에 의해 계산된 값이 매우 양호한 추정 정밀도를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 W/C별 해석모델의 최적계수 도출

Fig. 3은 W/B별 로지스틱 모델식의 각 계수 값을 일체화하여 산정하기 위한 일련의 절차를 도식화 한 것이다.

또한, Table 10은 Fig. 3의 절차에 의하여 산정된 로지스틱 모델식의 W/B별 계수값과 결정계수값을 나타낸 것이고, Fig. 4는 상기의 절차를

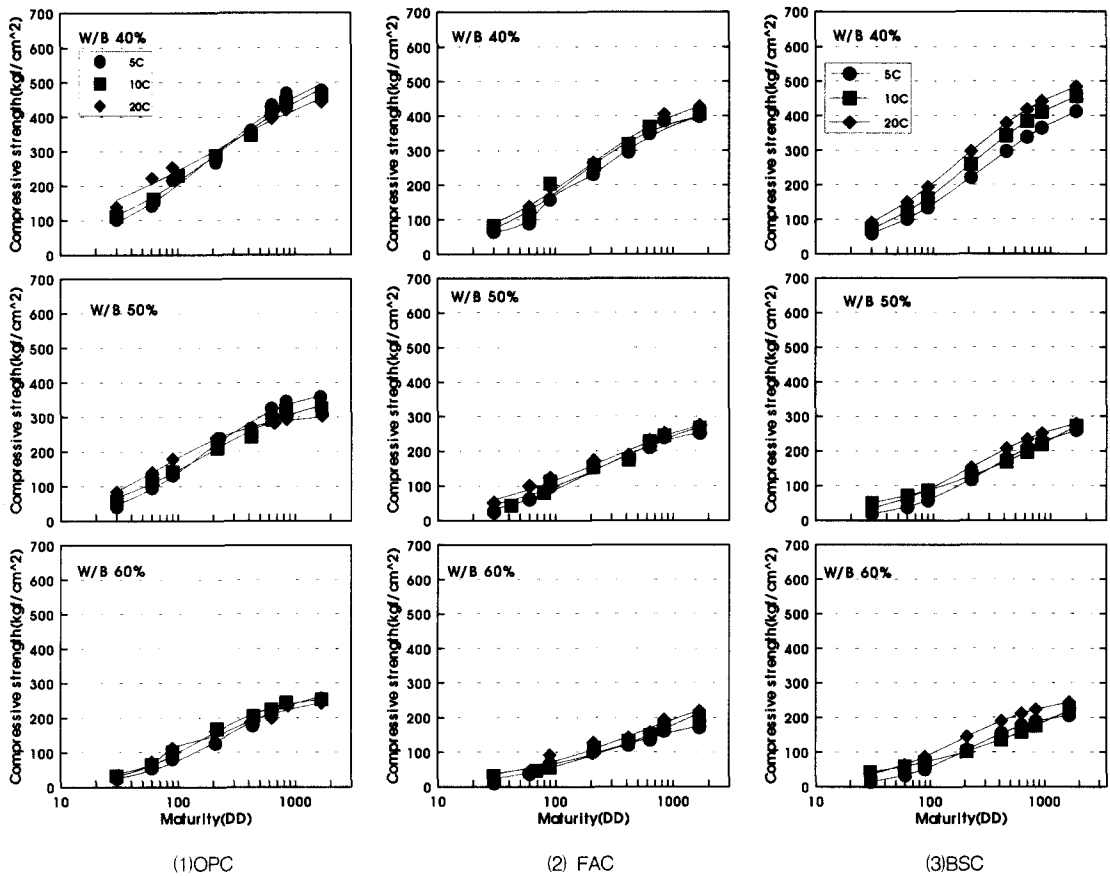


Fig. 2 Strength development of concrete using blended cement with logistic curve

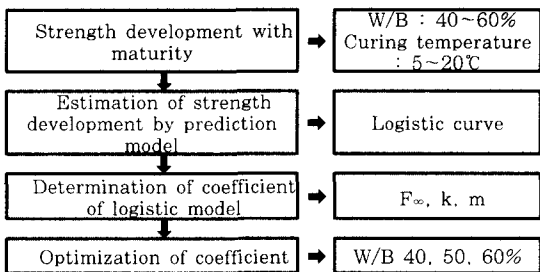


Fig. 3 Procedure of applying logistic curve

통하여 일체화된 시멘트 종류별, W/B별 적산온도에 따른 강도증진 경향을 나타낸 것이다.

3.3 초기동해 방지기간의 설정

본 연구의 초기동해 방지기간 설정 절차로는

Table 10 Coefficients of logistic curve

| Coef- ficients | OPC | | | FAC | | | BSC | | |
|-------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | W/B(%) | | | W/B(%) | | | W/B(%) | | |
| F_{∞} | 499 | 379 | 300 | 492 | 382 | 309 | 516 | 410 | 339 |
| k | 2.11 | 2.31 | 2.45 | 1.85 | 1.87 | 1.88 | 2.19 | 2.18 | 2.17 |
| m | 4.38 | 5.06 | 5.51 | 4.29 | 4.68 | 4.94 | 5.18 | 5.46 | 5.64 |
| R^2 | 0.974 | 0.972 | 0.992 | 0.990 | 0.972 | 0.972 | 0.980 | 0.980 | 0.978 |

우선, 상기의 Table 1에서 단면의 두께 및 물과의 접촉여부에 따라 구분되어진 강도값을 앞 절에서 W/B별로 일체화된 로지스틱 모델식에 대입하는데, 로지스틱 모델식은 소요의 강도가 발휘되는 적산온도값을 산정하도록 식(3)과 같이 변형하여 사용하였다.

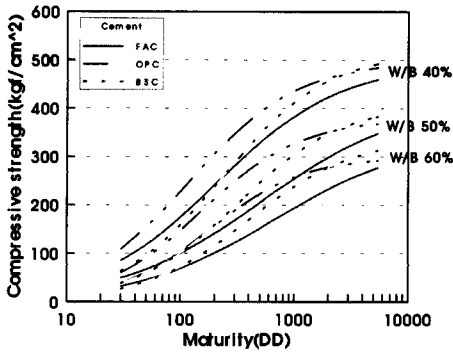


Fig. 4 Strength development with maturity

$$M = 10^{-\frac{1}{k} \left[\ln \left(\frac{F_{\infty}}{F_c} \right) - 1 \right] - m} \quad (3)$$

여기서, M : 적산온도,

F_{∞} : 최종도달강도,

k, m : 계수

해당강도가 발휘되는 적산온도를 식(3)을 이용하여 산정한 후, 이를 다시 적산온도식(식4)을 이용하여 양생온도 단계별로 재령을 구하였는데, 이 값이 초기동해방지에 필요한 단계별 강도를 얻는 소요의 일수가 된다.

$$\Delta t = \frac{M}{(\theta + 10)} \quad (4)$$

여기서, Δt : 재령(일), M : 적산온도(D·D)

θ : 콘크리트 온도(°C)

Table 11은 상기의 절차에 의하여 시멘트 종류를 구분한 다음, 소요압축 강도를 발휘하기 위한 W/B 및 예상양생온도별 초기동해 방지일수를 나타낸 것이다. 단, W/B의 단계는 5%단위로 설정하였는데, 이는 해석 모델식의 계수값을 B/W와의 관계로 회귀식을 산정한 후, 각 W/B별로 모델식의 계수값을 결정하여 적용하였다.

먼저, 예상 양생온도의 구분은 한중환경으로 여겨지는 0°C에서 20°C의 4단계와 20°C이상의 1단계로 구분하였는데, 현행 콘크리트 표준 시방서 상에는 5°C이상을 규정하고 있으나, 실제적으로 초기 양생시의 온도는 0°C이상이 되도록 유지

하는 경우가 있으므로 이러한 점을 고려하여 0°C부터 초기동해 방지기간을 산정하였다. 이때 산정된 기간은 구간온도범위 중 제일 낮은 온도에서 0.5일 단위로 설정한 후 최불리 조건을 고려하여 결정하였다.

산정결과에 따르면, 전반적으로 W/B가 클수록, 소요의 압축강도가 증가할수록, 그리고 양생온도 낮아질수록 초기동해 방지기간은 길어지는 것으로 나타났다.

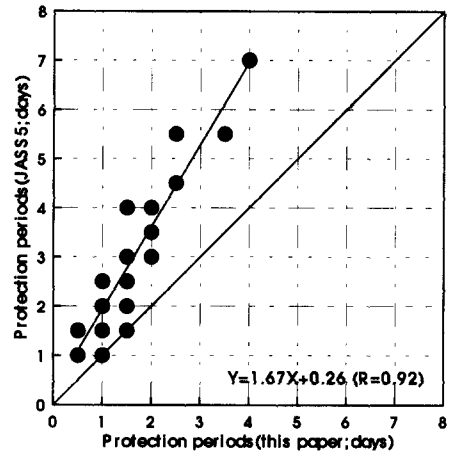


Fig. 5 The relationship of the protecting period of frost damage at early age between with JASS-5 and this paper (OPC concrete)

한편, 시멘트 종류별 초기동해 방지기간은 W/B 및 소요강도 단계별로 약간의 차이는 있으나 FAC를 사용한 경우가 동일 조건에서 가장 길게 나타나고 있었으며, 그 다음으로 BSC를 사용한 경우이며 OPC는 가장 짧은 기간임을 알 수 있었다.

또한, 압축강도 50kgf/cm²를 얻기 위한 기간은 OPC를 사용한 경우 W/B 및 양생온도 단계에 따라 약간의 차이는 있지만 전반적으로 1일에서 4일 정도가 소요되는 것으로 나타났고, 100kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 1.5일에서 9.5일 정도이며, 120 kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 2일에서 12.5일 정도, 그리고 150kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 2.5일에서 18일 정도로 나타났다. 반면에 FAC나 BSC를 사용한 경우는 OPC의 경우

Table 11 Proposed protection periods and maturities for frost damage at early age

| Binder | Compressive strength (kgf/cm ²) | W/B (%) | Curing temperature(°C) | | | | | Maturity (° DD) |
|--------|---|---------|------------------------|--------|---------|---------|------|-----------------|
| | | | 0≤t<5 | 5≤t<10 | 10≤t<15 | 15≤t<20 | 20≤t | |
| OPC | 50 | 40 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 11 |
| | | 45 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 18 |
| | | 50 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 23 |
| | | 55 | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 32 |
| | | 60 | 4.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 39 |
| | 100 | 40 | 3.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 26 |
| | | 45 | 4.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 41 |
| | | 50 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 56 |
| | | 55 | 7.5 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 2.5 | 73 |
| | | 60 | 9.5 | 6.0 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 92 |
| | 120 | 40 | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 34 |
| | | 45 | 6.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 53 |
| | | 50 | 7.5 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 72 |
| | | 55 | 10.0 | 6.0 | 4.0 | 4.0 | 3.5 | 95 |
| | | 60 | 12.5 | 6.0 | 5.0 | 5.0 | 4.5 | 121 |
| 150 | 40 | 5.0 | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 48 | |
| | 45 | 7.5 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 74 | |
| | 50 | 10.5 | 7.0 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 101 | |
| | 55 | 14.0 | 9.5 | 7.0 | 5.5 | 5.0 | 136 | |
| | 60 | 18.0 | 12.0 | 8.5 | 7.5 | 6.0 | 177 | |
| FAC | 50 | 40 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 14 |
| | | 45 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 22 |
| | | 50 | 3.5 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 31 |
| | | 55 | 4.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 32 |
| | | 60 | 6.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 56 |
| | 100 | 40 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 38 |
| | | 45 | 6.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 2.5 | 61 |
| | | 50 | 9.0 | 6.0 | 4.5 | 4.0 | 3.0 | 88 |
| | | 55 | 12.5 | 8.5 | 6.5 | 5.0 | 4.5 | 125 |
| | | 60 | 17.5 | 11.5 | 9.0 | 7.0 | 6.0 | 172 |
| | 120 | 40 | 5.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 51 |
| | | 45 | 8.5 | 5.5 | 4.5 | 3.5 | 3.0 | 83 |
| | | 50 | 12.5 | 8.5 | 6.5 | 5.0 | 4.5 | 121 |
| | | 55 | 17.5 | 11.5 | 9.0 | 7.0 | 6.0 | 172 |
| | | 60 | 24.5 | 16.5 | 12.5 | 10.0 | 8.5 | 243 |
| 150 | 40 | 7.5 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 75 | |
| | 45 | 12.5 | 8.5 | 6.5 | 5.0 | 4.5 | 123 | |
| | 50 | 19.0 | 12.5 | 9.5 | 7.5 | 6.5 | 186 | |
| | 55 | 27.5 | 18.5 | 14.0 | 11.0 | 9.5 | 270 | |
| | 60 | 30.0 | 26.5 | 20.0 | 16.0 | 13.5 | 395 | |
| BSC | 50 | 40 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 22 |
| | | 45 | 4.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 31 |
| | | 50 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 39 |
| | | 55 | 5.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 51 |
| | | 60 | 6.5 | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 2.5 | 62 |
| | 100 | 40 | 5.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 52 |
| | | 45 | 9.0 | 6.0 | 4.5 | 4.0 | 3.0 | 73 |
| | | 50 | 10.0 | 6.5 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 96 |
| | | 55 | 13.0 | 8.5 | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 128 |
| | | 60 | 16.0 | 11.0 | 8.0 | 6.5 | 5.5 | 158 |
| | 120 | 40 | 7.0 | 4.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 66 |
| | | 45 | 9.5 | 6.5 | 6.0 | 4.0 | 3.5 | 94 |
| | | 50 | 12.5 | 8.5 | 6.5 | 5.0 | 4.5 | 122 |
| | | 55 | 17.0 | 11.5 | 8.5 | 7.0 | 6.0 | 168 |
| | | 60 | 24.5 | 16.5 | 12.5 | 10.0 | 8.5 | 244 |
| 150 | 40 | 9.5 | 6.5 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 91 | |
| | 45 | 13.5 | 9.0 | 7.0 | 5.5 | 4.5 | 132 | |
| | 50 | 18.0 | 12.0 | 9.0 | 6.0 | 7.5 | 178 | |
| | 55 | 24.5 | 16.5 | 12.5 | 10.0 | 8.5 | 243 | |
| | 60 | 31.5 | 21.0 | 16.0 | 12.5 | 10.5 | 311 | |

보다 더욱 길어지는 것을 알 수 있었다.

한편, Fig. 5는 압축강도 50kgf/cm²를 얻기 위한 기간을 본 연구의 결과와 기존 일본건축학회⁽³⁾의 연구결과를 OPC를 사용한 경우에 대하여 비교한 것이다. 먼저, 압축강도 50kgf/cm²를 얻기 위한 일수는 본 연구에 의한 결과가 일본건축학회의 결과보다 평균적으로 약 45% 정도 짧은 것으로 나타나, 전반적으로 본 연구에 의한 결과가 안전율을 확보하면서도 더 짧은 기간임을 알 수 있었다.

또한, 본 연구의 결과 초기동해방지를 위한 양생기간은 현행 콘크리트표준시방서⁽¹⁾에 비하여 OPC의 경우 50 kgf/cm²에서는 약 1일 정도, 120 kgf/cm²의 경우 1.5~2일 정도 짧아진 것을 확인할 수 있었다.

한편, 소요의 압축강도를 얻기 위한 적산온도의 경우는 W/B가 증가할수록, 소요의 압축강도가 증가할수록 그리고 FAC 및 BSC를 사용한 경우에서 커지는 경향으로 나타났는데, OPC의 경우 50 kgf/cm²를 얻기 위한 적산온도는 W/B 별로 차이는 있으나 평균 25DD, FAC의 경우 34DD 그리고 BSC를 사용한 경우는 41DD로 산정되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 적산온도 방법을 이용하여 강도증진해석을 실시하고, 이를 이용하여 한중콘크리트 시공시 초기동해 방지를 위한 초기 양생기간을 산정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 로지스틱 모델식에 의한 강도증진해석의 결과에 따르면 해석모델에 의한 해석치와 실험측정치 사이의 상관성 검토결과, 결정계수는 시멘트의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 0.95~0.98, 그리고 표준오차는 5~20 kgf/cm² 정도로 양호한 상관성을 보이고 있었다.

2) 적산온도에 의한 강도증진해석에 의하여 초기동해 방지에 요구되는 소요의 압축강도를 얻기 위한 기간 및 적산온도를 산정한 결과는 Table 11과 같다. 이 표는 콘크리트표준시방서의 개정안으로 제안하는데, 초기동해방지를 위한 초기양생기간은 W/B가 커질수록, 예상 양생온도가 낮을수록, 그리고 FAC 및 BSC를 사용할수록 기간은 길어지는 것을 알 수 있다.

3) 본 연구에 의한 초기동해 방지기간을 일본건축학회의 연구결과와 비교하면 50 kgf/cm²를 얻기 위한 일수의 경우 OPC는 약 45% 정도 짧은 것으로 나타났고, 기존의 콘크리트 표준시방서에 비하여 OPC의 경우 50 kgf/cm²에서 약 1일 정도 그리고 120kgf/cm²에서 1.5~2일 정도 짧아진 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 표준시방서, 1999.
2. 鎌田英治 ; ロジスティック曲線を應用したコンクリート強度推定法の提案, 日本建築學會論文報告集, 第367號, 1986.
3. 日本建築學會 ; 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1989. pp.71-73.
4. 대한건축학회 ; 건축공사 표준시방서, 1999.
5. 韓千求, 洪悅郎, 鎌田英治, 吉野利幸, 桂修 ; 高强度コンクリートの壓縮強度増進性狀に關する研究, (平均養生溫度による寒中コンクリートの強度補正值の提案, 日本建築學會大會學術講演論文集, 1992.
6. Carino, N. J ; Maturity Method: Theory and Application, Journal of Cement Concrete and Aggregate, ASTM, 1984. pp.61-73.
7. ACI, Cold weather concreting, 1980
8. Plowman, J. M ; Maturity and Strength of Concrete, Magazine of Concrete Research, 1956. pp. 175-178.
9. A.M Neville ; Properties of Concrete, Pitman, 1981.

요 약

한중콘크리트 시공시 초기동해의 방지는 가장 우선적으로 고려해야 될 사항 중의 하나이다. 콘크리트 구조물이 이러한 초기동해를 받을 경우는 구조물의 균열, 강도의 저하 및 내구성의 저하 등 구조물에 악영향을 미치게 된다. 그러므로 본 연구에서는 적산온도를 이용한 콘크리트의 강도증진해석을 다양한 시멘트 종류 및 W/B를 변수로 강도증진 해석모델인 로지스틱 곡선을 이용하여 수행하고, 이를 토대로 시멘트 종류별, 양생온도단계, 목표강도 및 W/B별 초기동해 방지기간을 산정하고자 하였다. 연구결과에 따르면 로지스틱 모델에 의한 강도증진해석 결과 시멘트종류에 관계없이 해석치와 실험치가 양호한 상관성을 갖고 있었다. 초기동해 방지기간의 경우 W/B가 증가할수록 소요강도가 증가할수록 기간은 증가하는 것으로 나타났는데, 특히, FAC 및 BSC를 이용한 콘크리트의 초기동해 방지기간은 OPC를 사용한 경우보다 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서 산정된 초기동해 방지기간은 일본건축학회의 연구결과나 한국콘크리트 학회의 경우보다 부분적으로 짧아짐을 확인할 수 있었다.

(접수일자: 2000. 1. 20)