

축진양생조건에 따른 PC 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구

A Study on Quality Characteristic of PC Concrete According to the Accelerated Curing Conditions

김 관 호* · 박 광 수 · 신 수 균 · 이 준 구 (농어촌연구원)
Kim, Kwan Ho · Park, Kwang Soo · Shin, Su Gyun · Lee, Joon Gu

Abstract

Annual demand of a precast concrete bench flume used in the irrigation canal of arable land readjustment has continuously increased units recently. The average life time of the precast concrete bench flume was estimated 8 ~ 10 years, which is too shorter than the life time of in-site placed concrete structures. In order to increase the compressive strength of the precast concrete bench flumes, the highest temperature of being lower than 95°C was suggested in this study. Through analyzing the relation between the compressive strength and the amount of chloride penetration into concrete specimens, a new formula early estimating durability of the concrete structure was suggested.

I. 서 론

현재 농업토목공사도 프리캐스트 구조물이 급격히 보급되고, 경제성장과 국제화에 따른 제품의 다양화 요구 그리고 각종 특수공사의 증가 등에 따른 국내 제반규격의 변화 및 매스컴의 관심으로 인하여 질적인 향상 뿐만 아니라 새로운 제품을 만들기 위한 연구 개발경쟁이 날로 치열해 지고 있다. 그러나 농업토목사업 특성상 공장제품생산 중 수로관은 가을부터 단기간에 대량의 제품을 계약, 생산하여 현장에 반입시켜야 하므로 동일 생산라인으로 1일 4~5회 공정으로 제품을 급속하게 생산할 수밖에 없는 실정이다. 또한 이를 위해서 표준 증기양생 사이클을 지킬 수 없는 현실인 관계로 축진양생의 온도를 급속히 상승시키고 최고 등온온도를 규정된 대로 지키지 않은 양생방법이 일상이다. 이렇게 급속고온 양생된 공장제품인 수로관은 내부조직이 동결융해에 취약한 구조로 알려져 있으며, 기존 설치된 수로관은 시공된 후 8~10년 이내에 많은 사업지구에서 동결융해 등 내구성 저하로 재시공 및 유지관리비가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구는 연구의 실용화를 위하여 국내의 콘크리트 2차제품 생산업체의 콘크리트 배합설계표를 수집·분석하여 품질특성을 실험적으로 구명하였다.

II. 실험방법

1) 배합설계 자료조사 및 분석

본 연구에서는 국내 콘크리트 공장제품 약 20여개 생산업체 콘크리트 배합설계표를 수집·분석하여 슬럼프, 공기량, 강도등의 적정성을 확인하는 예비배합을 KS 규정에 따라 실시한 결과 공장제품의 물-시멘트비는 현실적으로 배합설계와 일치하지 않는 결과를 나타내었다. 따라서 콘크리트 배합설계를 현실화 시키기 위하여 잔팔재용 및 단위시멘트량은 동일하게 설정하고, 물-시멘트비만을 변화시키면서 목표 슬럼프치와 공기량을 일치시키기 위해 반복실험을 수행하였다. <표 1>은 가장 많이 사용되고 있는 공장제품의 콘크리트 배합설계표를 선정하여 예비실험 한 결과 물-시멘트비의 비교를 나타낸 것이며, 본 연구에 사용된 수정된 콘크리트 배합설계표를 나타낸 것이다.

<표 1> 콘크리트 배합설계표

구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물-시멘트비 (%)		수정된 배합설계표				
		공장배합	실험실배합	잔골재율 (%)	물(kg)	시멘트량 (kg)	잔골재 (kg)	굵은골재 (kg)
A사	25	42	50.8	42.5	204.1	401	720.0	1007.9
B사	25	44	53.3	42.0	195.1	366	733.5	1048.0
C사	25	50	48.1	39.0	187.7	390	681.0	1102.0

2) 혼합 및 타설

본 실험에는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 원주형 공시체를 제작하였다. 비빔에는 공칭용량 60리터의 가정식 믹서를 사용하였다. 재료의 투입은 굵은골재, 잔골재, 시멘트의 순으로 하였으며, 먼저 1분간 건비빔한 다음 혼합수를 투입하여 3분간 비벼 혼합 한 후 다짐은 진동기를 사용하였다. 타설된 공시체는 수분의 증발을 막기 위해 타설후 사전양생시간을 거친 후 양생조로 이동하여 형겅으로 공시체를 덮어 씌었다. 공시체 제작시 콘크리트의 타설온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 가 되도록 하였다.

3) 강도 실험

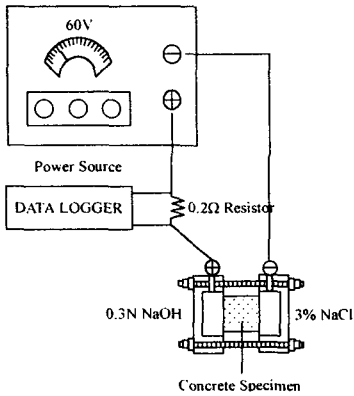
강도 측정은 촉진양생을 끝마친 후 항온항습실에서 후양생을 실시하였으며, 재령 1일, 14일, 28일에 KS F 2403(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법), KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따라 강도시험을 실시하였다. 실험결과는 각 3개 공시체의 평균값으로 하였으며, 강도시험에 사용된 기기는 150톤 용량의 압축강도 시험기를 사용하였다.

4) 염소이온 투과실험

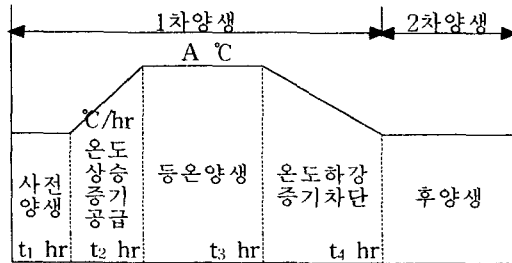
본 실험은 전위차를 이용한 염소이온의 이동을 알 수 있는 T. Zhang 와 O. E. Gjov등에 의해 제안된 전기적 방법을 응용하였으며, 염소이온투과시험은 ASTM C 1202에 따라 장치를 구성하였다. 원주형 공시체를 재령 14일 강도에서 측정하였으며, 측정값의 신뢰도를 높이기 위하여 중간부분에서 $5 \pm 0.2\text{ cm}$ 높이를 갖도록 절단하였다. 준비된 시편을 Applied Voltage Cell에 정치한 후 A.V. Cell (+)전극 쪽에는 0.3 N의 수산화나트륨(NaOH)을, (-)전극 쪽에는 3.0%의 염화나트륨(NaCl)의 전해질용액을 주입하여 실험하였다. <그림 1>은 염소이온투과시험에 사용된 전기회로도 를 나타낸 것이다.

5) 실험방법

선정된 업체의 수정 배합 결과표를 이용하여 촉진양생조건에 따라 공장제품 콘크리트의 품질특성을 분석하기 위하여<그림 2> 및 <표2>와 같이 사전양생 및 온도상승 시간은 동일조건으로 0.5시간으로 하고, 최고 등온양생온도를 각각 80°C , 95°C 의 변수로 하여 등온지속시간을 2시간과 4시간으로 설정하고, 온도하강을 일정하게 하여 1차 총양생시간을 5시간과 7시간으로 하여 양생을 실시한 후 재령일에 맞게 실험을 실시하였다.



<그림 1> 전기회로도



<그림 2> 촉진양생 씨이클

<표 2> 촉진양생 조건

구분	A(°C)	t ₁ (hr)	t ₂ (hr)	t ₃ (hr)	t ₄ (hr)	1차 총 양생시간
CP 1	80	0.5	0.5	2	2	5
CP 2	80	0.5	0.5	4	2	7
CP 3	95	0.5	0.5	2	2	5
CP 4	95	0.5	0.5	4	2	7

III. 사용재료

1) 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트로서 그 물리적 특성은<표 3>과 같다.

<표 3> 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성

종 류	평균비중	응결시간		분말도 (cm ² /g)	평균입경 (μ m)	압축강도(kgf/cm ²)		
		초결(min)	종결(hr)			3일	7일	28일
보통 포틀랜드	3.15	228	6.15	3,338	8~10	194	219	308

2) 골재

본 실험에 사용된 잔골재와 굵은골재는 각각 경기도 여주군 남한강산 하천사 및 경기도 안성군에서 생산된 부순돌로서 그 물리적 특성은 <표 4> 및 <표 5> 와 같다.

<표 4> 잔골재의 물리적 특성

평균비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (ton/m ³)	200번체 통과량(%)	조립율
2.55	1.08	1.558	1.8	2.69

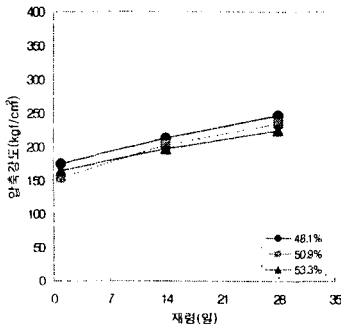
<표 5> 굵은골재 물리적 특성

평균비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (ton/m ³)	마모율 (%)	조립율
2.71	0.60	1.551	28.5	6.57

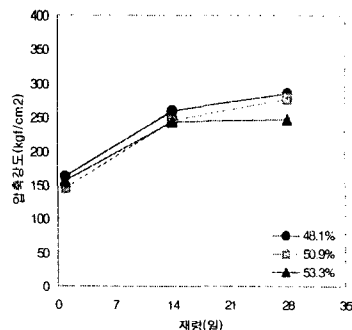
IV. 결과 및 고찰

1) 강도실험

전 양생시간을 0.5시간으로 동일하게 공시체를 제작하여 촉진양생조건에 따라 재령 1일, 14일, 28일의 압축강도를 물-시멘트비에 따른 실험결과를 <그림 3>, <그림 4>, <그림 5>, <그림 6>에 나타내었다. 실험결과 <그림3>에서 보듯이 물-시멘트비가 작을수록 압축강도가 재령에 따라 선형적인 강도증가를 나타냈으며, <그림4>에서는 1일 재령에서는 거의 비슷한 값을 나타내었으나, 14일에서는 강도 증진이 뚜렷하게 나타내었으며, 물-시멘트비가 작을수록 강도가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 <그림 5>에서 보는 바와 같이 14일 이후에는 오히려 강도가 약 10%정도 감소함을 알 수 있었는데, 이는 급작스러운 온도증가로 인한 구성 재료간의 열팽창압에 충분히 견딜 수 있는 인장강도를 지니지 못하여 내부에 회복할 수 없는 미세균열이 발생하였기 때문이라고 판단된다. 따라서 촉진양생시 나타나는 콘크리트의 강도저하는 온도상승으로 인한 수화조직의 불균질에서 기인한다기 보다 구성재료간의 열팽창에 의한 내부균열의 발생이 강도저하에 더 크게 영향을 미치고 있다고 판단된다. 또한 <그림 6>에서는 재령에 따른 강도증진이 거의 없음을 보여 주고 있으며, 이는 최고등온양생온도 80℃인 경우보다 95℃인 경우가 강도 발현이 작게 나타내고 있었다



<그림 3> 촉진양생조건 CP 1인 경우 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도

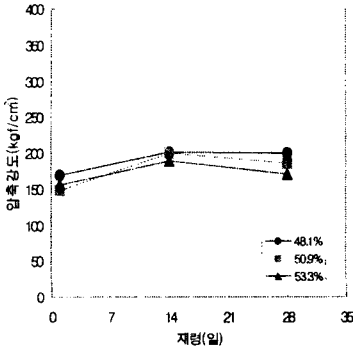


<그림 4> 촉진양생조건 CP 2인 경우 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도

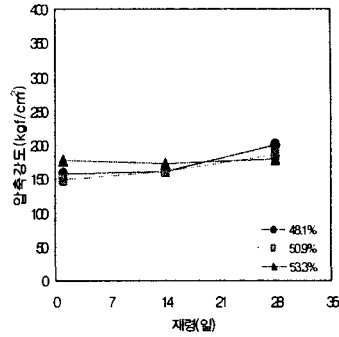
2) 염소이온 투과시험

염소이온 투과시험은 총 6시간이 소요되었으며, 측정된 염소이온 전하량과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 <그림 7>에 나타내었다. 투과전하량이 증가할수록 압축강도는 작게 나타났으며, 콘크리트의

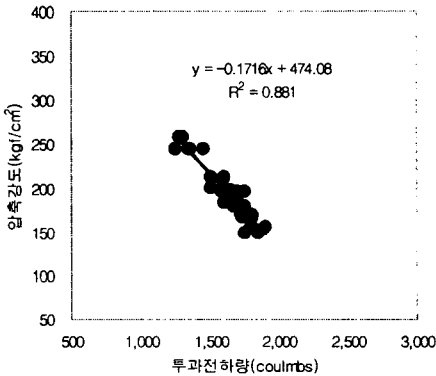
강도와 염소이온투과량과의 관계가 서로 반비례적임을 알 수 있었다. 염소이온 투과전하량이 증가한다는 것은 시험체내의 공극이 많이 존재하고 있다는 것으로 사료되며, 또한 측정된 압축강도와 투과전하량 관계는 $F'c = -0.17 Q + 474.08$ 의 식으로 나타낼수 있으며, 상관계수는 0.88로 상당히 크게 나타나 이러한 측정방법으로 짧은 시간 내에 콘크리트의 강도를 추정 할 수 있는 기법으로 사용 할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 5> 축진양생조건 CP 3인 경우 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도



<그림 6> 축진양생조건 CP 4인 경우 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도



<그림 7> 압축강도와 투과전하량과의 관계

3. 최고등온양생온도는 단시간내 높은 온도상승에 따른 건조수축균열이 발생 할 우려가 있으므로 충분한 압축강도를 발현하기 위해서는 현재 공장제품을 생산하는 업체의 최고등온양생 온도가 높을 경우 강도증진은 기대하기 어려우며, 그 사용을 지양하여야 할 것으로 사료된다.

4. 본 실험을 통하여 축진양생조건에 따른 콘크리트의 강도와 염소이온투과량과의 상관성을 분석한 결과 콘크리트의 강도를 짧은 시간내에 추정 할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 사전양생 및 온도상승, 최고등온온도, 온도하강의 변수를 다양화하여 강도 및 내구성을 비교하여 보다 명확한 고찰이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2000년 농림부 지원에 의한 “경지정리 공장제품 수로구조물 품질향상에 관한 연구”의 일환으로 수행되었으며, 농림부 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. ACI, "Effect of curing on durability", Concrete international Design & Construction, Vol., 12, No.1, pp. 47-54, 1990
2. 박 광수 외1인, "왕겨재를 이용한 고내구성 프리캐스트 제품화 연구", 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1992
3. 최 세규 외3인, "축진양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, Vol., 8, No. 4, pp. 141-148, 1996
4. 이 준구 외4인, "양생방법에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회, 제10권, 제1호, pp. 695-702, 1998