

서중(暑中) 환경에서 현장 콘크리트 시험을 통한 재료 품질관리 방안

A Study on Concrete Material Quality Management Based on Various Test of Construction Condition under Hot Weather Circumstance

박 신*

Park, Shin

Abstract

It is required to study systematical on the concrete quality management to extend structure life because rebuilding effect is reducing under present condition of large sized and high stories structure. Concrete, which shows its intensity by hydrating action and a big change in quality according to hot weather and temperature, produces a lot of quality problem under hot and cold weather. Because of each specification and construction plan which does not have basic standard on site, concrete's quality is irregular and makes some defect. As a result, Daegu is turned out to be the longest area after investigating application period and days focused on 8 cities weather information about relationship between hot weather circumstance and construction environment. Therefore, we first surveyed the concrete material in the region and found out the problem of quality management. Then figure out the way of solution. Moreover, we integrated concrete material quality management, which is applied differently to each site, to have equal quality and to reduce defect from construction site. And then, based on various test of construction condition and analysis of quality management item, we suggest effective concrete quality management to make concrete material construction standard guide and plan under hot weather.

키 워 드 : 품질관리, 서중환경, 재료, 콘크리트 시험

Keywords : Quality Management, Hot Weather Circumstance, Material, Concrete Test

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 콘크리트에 대한 연구는 고강도, 고성능 콘크리트 개발 등 재료적 분야와 구조적 분야에서 상당 수준까지 발전되어 현장에 적용되고 있다. 이러한 콘크리트의 성능을 해당 건물에 적용하여 효과를 얻기 위해서는 콘크리트의 적절한 시공 품질관리가 필요하다. 생산된 콘크리트는 시공 과정에서의 관리 소홀로 인해 품질이 변화되어 개발된 콘크리트의 성능을 반감시키고 있는 실정이다. 콘크리트의 품질변화는 운반 및 펌프 압송과 타설, 다짐, 양생 시에 품질관리의 기준과 수법이 미약하고, 관련 연구가 부족하기 때문인 것으로 사료된다.

또한 콘크리트는 시멘트의 수화 반응에 의해 강도가 발휘되며, 이러한 수화반응은 온도의 영향을 매우 크게 받는다. 현재 전 세계는 온실효과(Greenhouse Effect)로 인해 지구 온난화(Global Warming)가 발생하고 있어 콘크리트의 품질에도 영향을 미치고 있다. 기상청 자료에 따르면 1971년부터 30년간의 연평균 기온과 지난 1961년부터 30년간의 평균기온을 분석한 결과 대구지역의 경우 0.5℃가 상승되었다고 한다. 또

한 여름철 열대야 현상도 평균 22일에서 31일로 늘었으며 봄철 우수량 감소와 여름철 집중호우가 잦아지는 등 점차 아열대성 기후로 변화되고 있다고 한다.

국내의 경우는 계절의 변화가 뚜렷한 대륙성 기후 지역으로 콘크리트의 표준적인 양생조건(20±3℃)을 만족시켜야 하는데 주의해야 하며, 특히 한중(寒中)과 서중(暑中)같은 시공 환경은 이러한 표준양생조건을 만족시키는데 많은 문제를 유발하는 요인이 되고 있다.

한중(寒中)환경에 대해서는 다양한 관리대책과 연구와 보고가 이루어지고 있는 실정이며, 서중(暑中)환경에 대해서는 콘크리트 표준시방서와 현장별 특기시방서 및 시공 계획서 등으로 현장을 관리하고 있으나, 이에 대한 규정이 명확하지 않아 현장별로 뚜렷한 기준 없이 임의로 시공하고 있는 형편이다. 따라서 관리자마다 각기 다른 경험과 노하우를 바탕으로 현장을 관리하고 있어 품질이 일정하지 않고 각종 하자가 발생하는 등 품질관리에 커다란 문제점이 되고 있는 실정이다.

또한 서중(暑中)환경에서는 콘크리트가 조기에 경화되고 표면 건조가 빨라 소성 수축 균열이 발생하기 쉬우나, 초기강도 증대로 인하여 현장에서는 거푸집 조기해체와 조기작업 등을 행하고 있어 콘크리트의 품질을 더욱 악화시키고 있는 실정이다.

* 창원전문대학 건축과 교수, 공학박사

따라서, 본 연구는 서중(暑中)환경하의 콘크리트 시공에 있어 균일한 품질 확보와 하자발생을 줄이기 위해 다양한 시공 환경 조건의 현장시험과 품질관리 항목의 분석을 통하여 현장별로 상이하게 적용되고 있는 콘크리트 재료의 품질관리 기준을 통합하여 서중 환경시 콘크리트 재료의 시공지침과 시공계획서 작성에 필요한 콘크리트 재료 품질관리에 관한 기초자료 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 전국 8개 대도시 중 서중 콘크리트의 적용기간과 일수가 가장 긴 지역으로 분석된 대구지역의 콘크리트 재료에 대한 품질관리 실태를 조사한다. 또한 현장별로 상이하게 적용되고 있는 서중콘크리트 재료의 품질관리 기준을 통합하기 위해 다양한 시공환경 조건의 시험을 실시하고 분석하여 서중 환경시 시공지침과 시공계획서 작성에 필요한 콘크리트 재료 품질관리에 관한 기초 자료를 제시하고자 한다.

본 연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 서중(暑中)콘크리트에 대한 고찰을 통해 정의와 서중(暑中) 환경이 콘크리트에 미치는 영향을 파악하고 국내에서의 서중(暑中)콘크리트 적용기간과 시간대별 최고온도 발현시각을 조사·분석한다.
- 2) 서중(暑中)콘크리트 적용기간과 일수가 가장 긴 지역으로 분석된 대구지역의 콘크리트 재료에 대한 국내의 품질관리 실태를 조사하여 품질관리에 문제가 되는 사항의 원인분석과 해결방안이 될 기초자료를 도출한다.
- 3) 서중(暑中)환경에 따른 콘크리트 재료의 온도시험, 생(Fresh)콘크리트와 현장도착 콘크리트 온도시험, 콘크리트 온도 예측에 관한 시험, 기온에 따른 레미콘 온도예측 등의 재료 품질관리 시험을 다양한 현장 시공환경 조건으로 실시하여 정량적인 자료를 구축하여 분석한다.
- 4) 이상의 분석결과를 종합하여 서중 환경 하에서 콘크리트 재료에 관한 특기사항이나 시공계획서 작성에 사용할 수 있는 지침자료를 제시한다.

2. 서중(暑中)콘크리트의 고찰

2.1 서중(暑中)콘크리트의 정의

서중 콘크리트란 고온으로 콘크리트의 슬럼프가 저하되거나 수분의 급격한 증발 등의 염려가 있을 때에 시공되는 콘크리트²⁾이다. 즉, 서중 콘크리트는 비빔, 운반, 부어넣기의 각 공정 및 부어넣기 후의 콘크리트가 소요의 품질에 도달할 때까지의 기간 중 고온에 의한 악영향이 예상되어지는 기간에 시공되는 콘크리트로서 슬럼프저하나 발열 및 이에 따르는 균열과 강도저하 등에 대하여 특별한 배려가 필요하다. 서중 콘크리트의 적용기간 규정은 콘크리트를 타설할 때의 기온이 30℃를 넘으면 서중 콘크리트로서의 여러 가지 성상이 현저해지므로, 일 평균기온이 25℃를 넘는 시기에 시공할 경우에

2) 조준현, 건축재료학, 기문당, p.p. 246, 2003

는 일반적으로 서중 콘크리트로서 시공할 수 있도록 준비해 두는 것이 바람직하다.

표 1. 서중 콘크리트의 정의

기관	정의
콘크리트 표준시방서	시공에 있어 고온에 의해 콘크리트의 품질이 저하되지 않도록 재료, 배합, 비빔기, 운반, 치기, 양생 등에 대하여 적절한 조치를 취해야하는 콘크리트
건축공사 표준시방서	높은 외부기온으로 콘크리트의 슬럼프 저하나 수분의 급격한 증발 등의 염려가 있을 경우에 시공되는 콘크리트
일본 토목학회	서중 콘크리트에 관한 특별한 규정은 없으며, 콘크리트를 타설할 때의 기온이 30℃를 넘는 콘크리트
일본 건축학회	비빔, 운반 및 부어넣기의 각 공정, 또한 부어넣기 후 콘크리트가 소요의 품질에 도달할 때까지의 기간 중 고온에 의한 악영향이 예상되는 콘크리트
ACI 규정	콘크리트의 품질에 악 영향을 끼치거나, 혹은 콘크리트에 나쁜 특성을 초래할 수도 있는 고온, 낮은 상대습도, 빠른 풍속 등의 조합

또한 서중 환경이 콘크리트에 미치는 영향을 살펴보면 단위수량의 증대 및 공기량 감소와 경과시간에 따른 슬럼프 저하 및 온도 상승, 수분의 급격한 증발 및 블리딩의 감소, 부어넣은 후 초기의 콘크리트 내·외부 온도변화, 응결 경화의 촉진, 초기강도의 촉진과 장기강도 증진성의 저하, 콘크리트 표층부의 밀실성 저하 등이 있다.

이러한 사항에 대해 강도측면과 품질측면, 시공측면으로 구분하여 특성요인도로 나타내면 그림 1과 같다.

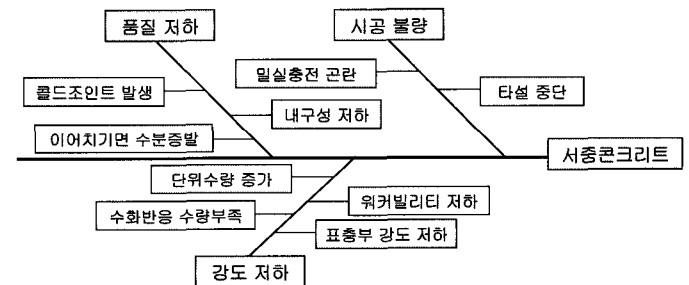


그림 1. 서중 콘크리트 특성요인도

2.2 국내 서중(暑中)콘크리트의 적용기간

본 연구에서는 일 평균온도가 25℃를 넘는 기간과 일 최고온도가 30℃를 넘는 기간을 서중콘크리트 적용대상으로 하고 조사지역은 전국 각 곳의 대도시 8개로 제한하였으며, 그 중 남부지역의 대구지역을 집중적으로 조사하고자 한다.

조사시간은 전국 8개 대도시에 대해서 1971년부터 2000년까지 30년간의 자료를 이용했으며, 그 중 대구지역은 최근 14년간의 자료인 1990년부터 2003년까지의 자료를 비교하여 분석하였다.

1) 전국 8개 대도시의 적용기간 조사 및 분석

전국 8개 대도시의 적용기간을 조사한 결과 표 2와 같이 나타났다.

조사한 지역 중 일 평균온도 25℃ 넘는 조건에서 가장 긴 일수와 기간의 도시는 대구지역으로 일수는 46일, 기간은 7

월 7일부터 9월 1일이며, 가장 짧은 일수와 기간의 도시는 춘천지역으로 일수는 25일, 기간은 7월 20일부터 8월 14일까지가 서중 콘크리트 적용기간에 해당되었다.

표 2. 전국 8개 대도시 서중 콘크리트 적용기간

규정 도시	일 평균 25℃ 이상		일 최고 30℃ 이상		비고 (북위(N))
	일수	시작일 - 종료일	일수	시작일 - 종료일	
서울	35일	7월 18일 - 8월 22일	18일	7월 23일 - 8월 18일	37° 34'
인천	28일	7월 21일 - 8월 19일	0일	0	37° 29'
대전	36일	7월 15일 - 8월 21일	33일	7월 19일 - 8월 20일	36° 18'
대구	46일	7월 7일 - 9월 1일	40일	7월 7일 - 8월 22일	35° 53'
울산	36일	7월 16일 - 8월 22일	25일	7월 20일 - 8월 15일	35° 33'
부산	41일	7월 19일 - 9월 1일	0일	0	35° 06'
광주	42일	7월 14일 - 8월 27일	34일	7월 18일 - 8월 20일	35° 18'
춘천	25일	7월 20일 - 8월 14일	21일	7월 18일 - 8월 14일	37° 54'

표 3. 대구지역 서중 콘크리트 적용기간

규정 년도	일 평균 25℃ 이상		일 최고 30℃ 이상		비고
	일수	시작일 - 종료일	일수	시작일 - 종료일	
1990년	67일	6월 11일 - 9월 11일	67일	6월 5일 - 9월 11일	※
1991년	43일	6월 6일 - 9월 4일	36일	6월 6일 - 9월 4일	
1992년	51일	6월 2일 - 9월 6일	45일	6월 1일 - 9월 6일	
1993년	18일	6월 15일 - 8월 25일	16일	6월 15일 - 9월 15일	
1994년	76일	6월 4일 - 9월 10일	75일	6월 2일 - 9월 20일	※
1995년	55일	6월 20일 - 9월 4일	52일	6월 16일 - 9월 4일	
1996년	47일	6월 2일 - 8월 23일	54일	6월 1일 - 9월 26일	
1997년	58일	6월 16일 - 9월 10일	53일	6월 7일 - 9월 10일	
1998년	50일	6월 29일 - 9월 15일	35일	6월 29일 - 9월 15일	
1999년	52일	6월 11일 - 9월 19일	36일	6월 4일 - 9월 14일	
2000년	65일	6월 5일 - 9월 2일	52일	6월 5일 - 9월 2일	※
2001년	66일	6월 3일 - 9월 7일	52일	6월 2일 - 9월 7일	※
2002년	46일	6월 4일 - 9월 5일	41일	6월 1일 - 9월 3일	
2003년	24일	6월 21일 - 8월 8일	25일	6월 5일 - 9월 17일	
평균	52일	6월 11일 - 9월 6일	46일	6월 7일 - 9월 11일	

※ : 적용기간이 다른 해와 비교해 장기간으로 조사된 해

또한 일 최고기온 30℃ 넘는 조건에서 가장 긴 일수와 기

간의 도시도 대구지역으로 일수는 40일, 기간은 7월 7일부터 8월 22일이며, 가장 짧은 일수와 기간의 도시는 인천과 부산이 0일로 나타났다.

이를 분석해 본 결과 지역에 따라 적용기간이 상이하며 일 평균온도 25℃ 이상 또는 일 최고온도 30℃를 넘는 기간인 두 기준을 동시에 고려하였을 때 일 평균온도 25℃ 이상의 기준을 적용하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

2) 대구지역의 적용기간 조사 및 분석

대구지역의 적용기간을 조사한 결과 표 3과 같이 나타났다.

최근 14년간의 자료를 바탕으로 대구지역의 서중 콘크리트 적용기간을 조사해 본 결과 해당일수와 시작일-종료일의 경우가 2000년 이전의 경우와 비교해 볼 때 대폭 증가한 것을 알 수 있으며, 이는 최근 지구 온난화 현상으로 국내의 기온이 상승하였기 때문인 것으로 사료된다.

그림 2는 두 기준에 의한 대구지역의 1990년도부터 2003년까지의 적용기간을 산점도로 나타낸 것이다.

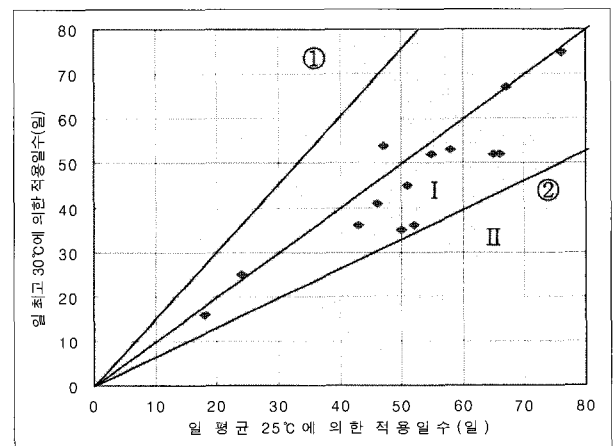


그림 2. 대구지역 서중콘크리트 적용일수 산점도

그림 2를 분석해 보면 대구지역은 국내에서 일 평균온도 25℃와 일 최고온도 30℃의 기준에 의한 적용기간이 비슷한 지역으로 일 평균온도가 높음에 따라 일 최고온도도 높은 것으로 나타났으며, 서중 콘크리트 적용기간은 대부분 장기간으로 분석된 일 평균기온 25℃ 이상의 규정이 더욱 적합할 것으로 사료된다. 이에 대구지역의 서중 콘크리트 적용기간을 일 평균기온 25℃ 이상의 기준에 맞추어 산정해 보면 평균 6월 11일부터 9월 6일까지이므로 현재 적용하고 있는 서중 콘크리트 적용기간을 연장하여야 할 것으로 사료된다.

또한 최근 14년간의 서중 콘크리트 적용기간인 날을 대상으로 일 시간대별 최고 온도 발현시각을 조사하여 히스토그램으로 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3에 따르면 오후 3시와 4시경 최고기온에 도달하는 횟수가 가장 많으므로 서중 환경에 따른 콘크리트 품질의 악영향을 최소화시키기 위해서는 새벽부터 공사를 시작하여 오전에 공사를 완료하는 것이 옳을 것으로 사료된다. 또한, 콘크리트 온도에 가장 큰 영향을 미치는 재료인 골재의 경우

비열이 낮아(0.2정도) 기온과 일사에 민감하며, 골재의 최고 온도 발현시점이 대기온도가 제일 높은 시각보다 1~2시간 경과 이후3)라는 점을 고려했을 때 정오부터 오후 6시까지는 콘크리트 타설시 온도관리에 각별한 주의와 조치가 필요한 것으로 판단된다.

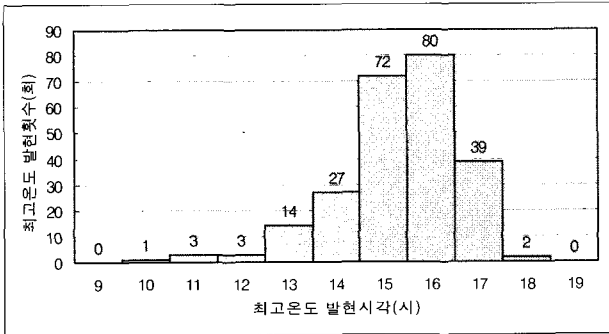


그림 3. 시간대별 최고온도 발현시각

3. 국내·외 서중(暑中)콘크리트의 시공실태 분석

3.1 국내 서중(暑中)콘크리트의 시공실태 분석

본 절에서는 서중 콘크리트의 시공실태를 살펴보기 위해 대구지역의 대한주택공사 관리현장 2곳과 민간 아파트 현장 3곳에 대하여 품질관리 계획서, 재료의 품질관리에 대하여 그 실태를 다음과 같이 조사하였다.

1) 서중 콘크리트 품질관리 계획서

시공자는 서중 콘크리트 공사 시작 전에 이용하는 재료, 시설, 배합, 비빔, 운반, 타설 및 양생방법을 제시하는 품질관리 계획서를 작성하여 담당원의 승인을 받도록 규정되어 있었다. 대한주택공사 관리 현장은 주택공사 자체에서 접수받고 있었으며, 민간 아파트 현장은 책임감리자가 접수받아 검토하고 있었다.

대부분의 현장에서는 품질관리 계획서를 레미콘 회사로부터 제출 받아 현장 시공관리 계획을 첨부하여 제출하였으며, 그 내용을 살펴보면 각 현장별 특성이나 실정을 고려하지 않고 일반적인 시방서 규정을 기록하고 있었다. 또한 각 현장 모두 서중 콘크리트 적용을 받는 기간에 대한 특기 시방이 명시되지 않았으며, 7월 중순경에 품질관리 계획서를 제출하여 8월말까지 서중 콘크리트를 적용하고 있어 대구지역의 경우 6월과 7월초 및 9월초에 시공되는 서중콘크리트는 품질관리상 문제가 있을 것으로 사료된다. 따라서 서중콘크리트 품질관리계획서를 5월중순경에 제출받아 검토하여 6월초부터 서중콘크리트의 품질관리가 될 수 있도록 조치하여야 할 것이다.

2) 서중 콘크리트 재료 품질관리

대구지역 레미콘공장 5곳을 방문하여 콘크리트 재료에 대

3) 사우디아라비아에서의 서중콘크리트 시공, 콘크리트 학회지, p.p. 39, 1994. 8

해 조사한 결과 시멘트는 공장생산 후 4일 정도 대기 중에 냉각시킨 후 방습 사이로에 저장되어 있었고, 골재는 일광을 피할 수 있는 골재야적장이 있었으며, 배합수는 15~19℃가 유지되는 지하수를 사용하고 있었다.

표 4. 콘크리트 재료가 콘크리트 온도에 미치는 영향⁴⁾

콘크리트 재료 및 온도	콘크리트 온도
시멘트 : ± 8℃	± 1℃
골재 : ± 2℃	
물 : ± 4℃	

표 4를 살펴보면 콘크리트 온도에 가장 큰 영향을 미치는 재료는 골재이다. 이러한 골재의 온도를 낮추기 위해서는 골재 야적 시 직사광선을 피하기 위한 시설과 골재 투입 전 살수가 필요하며, 표면수가 균일하게 되도록 골재저장소의 배수설비와 살수관리가 잘 이루어져야 한다. 그러나 현실적으로 골재의 함수량 변화를 배합 설계시 고려하기란 어려운 실정이다.

따라서 골재 다음으로 콘크리트 온도에 영향을 미치는 배합수를 이용하여 콘크리트 온도를 낮추는 것이 효과적이라 사료된다. 사용되는 배합수는 상수도보다 함수인 지하수를 사용하는 것이 좋으며 배합수에 얼음을 투입하여 배합수의 온도를 낮추는 방법도 고려할 수 있으나, 이 방법은 믹서 투입 전 완전히 녹여야 하므로 얼음 덩어리(Block Ice)를 잘게 분쇄하는 분쇄기와 이를 믹서에 투입하는 Slinger라는 설비가 필요한 것으로 나타났다.

3.2 중동지역 서중(暑中)콘크리트의 시공실태 분석

1) 재료의 품질

현재 중동지역에서는 시멘트의 생산이 증가하고 있으나, 대부분이 아직도 유럽, 극동 또는 아프리카 지역으로부터 수입에 의존하고 있다. 이 시멘트는 보통 종이로 포장되어 있어 운반과정에서 품질에 많은 변화가 있을 수 있다. 이 지역에서 생산되는 시멘트의 대부분은 영국표준규격 또는 미국재료규격협회의 규정에 따라 생산되지만, 재령 28일 강도를 21N/mm² (214kgf/cm²)가 되게 하려면 단위 시멘트 량은 대략 300~350kg/m³까지이다. 어떤 지방에서는 부식성 지반조건 때문에 내황산염 시멘트가 필요할 경우도 있다.

또한 지하수면이 지표면에 가까운 곳에 위치한 지역에서는 표면으로부터의 강한 증발현상 때문에 지하수가 모세관 현상에 의하여 위로 올라오면서 지표면 아래에 여러 가지 염을 퇴적시킨다. 따라서 표층에는 콘크리트에 유해한 황산염이나 소금이 아주 많이 함유되는 경우가 많고 일반적으로 표면에 있는 자갈은 골재로 사용하지 않으며 품질확보를 위해서는 골재를 선택하여 채취하는 것이 중요하므로 제일 윗층은 견어 내에서 버리고 골재를 땅 표면에 저장할 때는 오염되지 않도록 주의하여야 한다. 골재의 아랫부분이 젖어 있다면 모세관현상에 따라서 염이 골재 아랫부분까지 올라왔다는 것이므로 콘크리트에 이용할 수 없다. 골재에 염이 퇴적하는 것은 여러 가지 유형이 있기 때문에 물리·화학적 시험을 포함한 프

4) 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, p.p. 141~142, 1999

로그래에 따라 계속적으로 품질검사를 할 필요가 있다. 가습하면 골재는 불순물 제거를 위하여 물로 씻는 것이 좋지만 대부분의 경우 이러한 조작은 실행이 불가능하거나 비경제적이다. 골재가 의심스러우면 거리가 먼 지방에 있는 확실한 골재원으로부터 운반하는 것도 고려해 볼 만하다. 콘크리트용 혼합수도 문제가 되는데 염을 함유하고 있는 물을 사용하면 콘크리트 내부에서 강재 부식과 균열을 발생하게 하는 요인이 될 것이므로 가능한 한 순수한 물을 사용해야 한다.

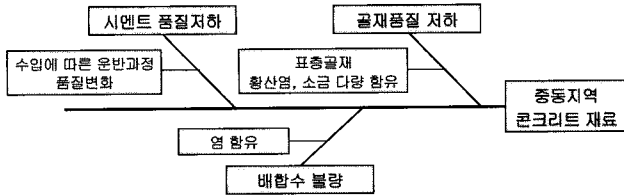


그림 4. 중동지역 콘크리트 재료 특성요인도

2) 재료의 저장방법

제조하는 콘크리트의 온도상승을 제어하기 위해 콘크리트에 사용하는 시멘트, 모래, 자갈 등은 가능한 저온의 것을 사용하고 외기온이나 직사광선에 의한 온도상승이 발생하지 않도록 저장하고 있다. 그 방법으로 골재 저장소에 직사광선을 막고 바람이 통할 수 있는 Net Shading을 하였으며, Hessian을 덮고 Chilled Water를 살수하여 증발로 인한 골재의 온도를 낮추었다.

또한 배치플랜트 가동 2시간 전에 Chiller를 가동하여 배합수의 온도를 7°C 이하로 유지하며, 사이로를 흰색으로 도색하여 직사광선으로 인한 시멘트의 온도상승을 최소화 하고자 하였다.

3) 재료의 냉각방법

제조시 콘크리트의 온도를 저하시키기 위해 프리쿨링이 사용된다. 프리쿨링의 방법에는 여러 가지가 있으나, 칩(Chip) 상의 얼음을 배합수의 일부로 사용하여 저온의 콘크리트를 만드는 방법 등이 가장 많이 사용되고 있다. 또한 최근에는 액체질소를 사용하는 프리쿨링 방법도 일부에서 사용되고 있다.

4) 콘크리트 온도관리

콘크리트의 온도관리는 온도 추정공식(ACI 305R-91)을 적용하여 콘크리트 최대 목표온도를 설정하고 각각의 자재온도를 Monitoring 후 관리온도를 정하고 이를 얻기 위해 현장실행 가능한 조치를 취하였다.

본 지역에서 공식에 의한 온도는 기계적 비빔에 의해 발생하는 추가적인 온도를 고려하지 않았기 때문에 최저허용온도(32°C)에서 3°C를 뺀 29°C를 목표온도로 설정하였다.

4. 서중(暑中)환경시 콘크리트 재료 품질관리 방안

4.1 시험개요

1) 시험조건 및 방법

본 시험은 2002년과 2003년까지 2개년의 6월부터 9월까지 서중 환경 조건인 일 평균기온 25°C 이상과 일 최고기온 30°C 이상인 날을 대상으로 T 레미콘 사를 포함한 대구지역의 5개 공장과 J 건설사의 현장에서 실시하였다.

재료관련 시험은 디지털 온도계를 이용하여 생(Fresh)콘크리트와 현장 도착 콘크리트의 온도를 측정하고, 콘크리트 재료의 온도와 기온과의 관계를 비교하여 조사한다.

2) 콘크리트 배합설계

본 시험에서는 동일한 콘크리트 배합 조건을 만들기 위해 W/C 48.3%, S/a 44.3%로 고정하여 설계기준강도 $f_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 을 사용하였으며, 이 배합은 서중 환경에서 현재 사용되고 있는 일반적인 배합조건이다.

표 5. 서중 콘크리트 품질시험 배합표

배합 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (cm)	공기 량의 범위 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	Ad
서중 콘크리트	25	15± 2.5	4.5± 1.5	48.3	44.3	173	358	819	979	C× 0.5%

3) 시험 사용재료

본 시험에 사용한 시멘트는 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 물리·화학적 성질은 표 6과 같다.

표 6. 시멘트의 물리·화학적 성질

구 분	분말도 (cm ² /g)	비중	강열 감량 (g. loss)	화학적 성분						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
시멘트	3,464	3.15	1.72	21.84	5.68	3.28	61.92	2.20	2.19	0.88

또한 잔골재는 경북 성주의 낙동강산 천연사를 사용하였으며, 굵은골재는 경북 성주산 부순돌을 사용하였다.

골재의 물리적 성질은 표 7과 같다.

표 7. 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	조립율	단위 용적 중량 (kg)	실적율 (%)	안정성 (%)	점토 덩어리 (%)	0.88 mm 체통 과량 (%)	염 화물 (%)
잔골재	2.57	1.23	2.82	1,624	-	3.7	0.30	1.40	0.00 1
굵은골재	2.64	1.02	7.06	1,553	59.5	3.8	0.10	0.40	

또한 혼화제로는 AE 고성능 감수제를 사용하였으며 특성은 표 8과 같다.

표 8. 사용 혼합제의 물리·화학적 특성

구분	형태	색상	주 성분	pH	비중
AE고성능감수제	액상	암갈색	나프탈렌계	8.5±1.5	1.208

4.2 서중(暑中)환경시 콘크리트 재료 관련 시험

서중 환경 하에서는 외기온 등에 의해 콘크리트용 재료의 온도가 상승하고, 이에 따라 콘크리트의 온도가 높게 된다. 이와 같은 콘크리트는 초기 수화열의 증대, 응결시간의 단축, 초기강도의 증대 등의 특성을 갖지만, 초기균열의 증대, 단위수량의 증가, 공기연행성의 저하, 블리딩의 감소, 슬럼프 손실의 증대, 장기강도 증대성의 저하 등 보통 온도 시에 비하여 상이한 특징이 있다. 그러므로 서중 콘크리트용 재료는 이와 같은 현상을 적극적으로 억제할 수 있는 성질을 갖는 재료를 사용하거나 물리적 방법을 사용하여 콘크리트의 혼합온도를 가능한 낮추어 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

따라서 본 절에서는 서중 환경시 콘크리트 재료의 온도, 생(Fresh)콘크리트와 현장도착 콘크리트의 온도를 측정하고, 재료온도와 기온에 따른 콘크리트의 온도를 예측하여 혼합온도와 타설온도를 낮추는 정량적인 자료를 확보하고자 한다.

1) 서중(暑中)환경시 콘크리트 재료의 온도시험

콘크리트의 비빔온도에 영향을 미치는 골재와 시멘트, 배합수의 온도를 측정해 본 결과 다음과 같다.

(1) 골재 온도

골재 저장소를 점검해 본 결과 4곳에서는 지붕과 살수설비를 사용하여 골재를 직사광선으로부터 차단하고 있었으며, 골재의 온도는 기온과 비슷한 결과를 나타내고 있었다. 이를 분석해 본 결과 골재의 비열이 0.2정도로 비교적 낮으므로 대기에 노출할 경우 대기온의 영향을 빨리 받아 이런 결과가 나온 것으로 사료되며, 살수설비는 1일 2-3회 정도 가동하고 있으며, 골재의 온도를 저감한다는 목적도 있지만, 골재의 함수상태를 표면건조내부포수상태로 만들기 위한 조치로서 사용하고 있었다. 또한 1곳은 살수설비만을 설치하여 골재의 온도를 저감하고자 하였으나, 실제 온도를 측정해 본 결과 살수 직후에는 온도저감의 효과가 있으나 그 외에는 직사광선으로 인한 축열로 대기기온 보다 7-9℃정도가 높게 나타났다.

따라서 서중 콘크리트를 제조하기 위한 레미콘공장에서는 반드시 지붕과 살수설비가 있는 골재저장소가 있어야 하며 레미콘 공장 선정시 반드시 이러한 사항이 고려되어야 한다고 판단된다.

(2) 시멘트 온도

시멘트 저장소를 점검해 본 결과 모두 방습구조로 된 사일로에서 시멘트를 저장하고 있었으나, 단열처리가 미흡해서 시멘트의 평균 온도는 50-60℃정도로 조사되었다.

따라서 서중 콘크리트를 제조하기 위한 레미콘 공장에서는 사일로의 구조가 방습적인 성능과 단열적인 성능 두가지 모두가 만족되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 배합수 온도

배합수에 관해 점검해 본 결과 모두 지하수를 배합수로 직접 사용하거나, 이를 저장하여 사용하고 있었다. 또한 일부는 회수수를 사용하기도 하였다. 유해물질 함유에 대한 검사는 수시로 하고 있었으며, 지하수의 온도는 16-19℃정도로 조사되었으며, 저장수는 25℃전후로 측정되었다. 따라서 서중 콘크리트를 제조하기 위한 레미콘 공장에서는 유해물질 함유에 대한 검사가 이루어진 지하수를 사용하되 저장하여 사용하지 말고 바로 채수하여 사용하여야 콘크리트의 온도상승 억제에 효과가 있을 것으로 사료된다.

2) 생(Fresh)콘크리트와 현장도착 콘크리트 온도시험

생(Fresh)콘크리트란 비빔직후로부터 응결과정을 거쳐 소정의 강도를 나타낼 때까지의 콘크리트를 말하지만, 본 논문에서는 배척플랜트에서 생산 직후의 콘크리트를 생(Fresh)콘크리트라 보며, 현장도착콘크리트는 생(Fresh)콘크리트를 현장까지 운반한 콘크리트로 규정한다.

본 시험은 2002년 6월과 9월에 대해서 오전 10시경에 생(Fresh)콘크리트 온도만을 T레미콘사에서 측정하고, 7월과 8월에 대해서는 운반중의 콘크리트 온도 상승을 조사하기 위해 생 콘크리트와 현장도착 콘크리트의 온도를 측정한다. 여기서 온도 기준치는 생(Fresh)콘크리트의 경우 운반도중 상승할 수 있는 온도 상승치를 고려하여 30℃로 규정되어 있으며 이는 콘크리트 타설시의 온도를 35℃이하로 유지하기 위한 것이다.

생(Fresh)콘크리트의 온도분포를 시험하여 그 결과를 히스토그램으로 나타내면 그림 5와 같다.

그림 5에 따르면 생(Fresh)콘크리트 온도는 대부분 27-29℃의 범위로 조사되었으며, 30℃를 초과하는 콘크리트는 나타나지 않아 레미콘 공장에서의 골재, 시멘트, 배합수 등의 온도관리는 대체로 우수한 것으로 사료된다.

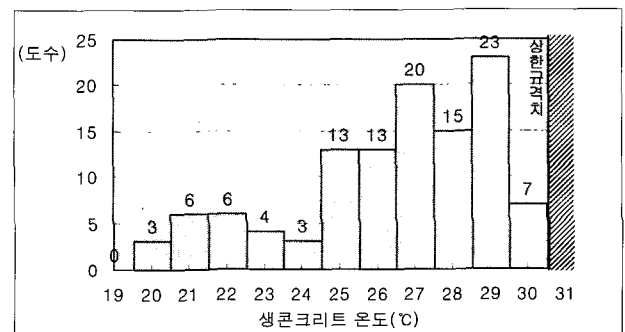


그림 5. 생(Fresh) 콘크리트의 온도분포

또한 현장도착콘크리트의 온도분포를 시험하여 그 결과를 히스토그램으로 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6에 따르면 32 - 34℃의 콘크리트가 대부분으로 조사되었으며 35℃를 초과하는 콘크리트는 나타나지 않았다. 그러나 콘크리트 표준시방서의 규정은 타설시 온도가 35℃이하이어야 하므로 장시간의 대기시간과 펌프카로 압송시 온도가

5) 조준현저, 건축재료학, 기문당, p.p. 164, 2003

6) 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, p.p. 143, 1999

상승할 것으로 사료되므로 콘크리트 온도관리에 주의해야 할 것이다.

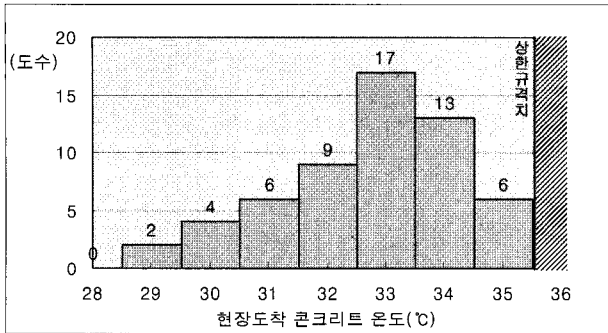


그림 6. 현장 도착 콘크리트의 온도분포

또한 생(Fresh)콘크리트와 현장 도착 콘크리트 사이의 운반시간은 대부분 45-55분 정도이고, 운반시간에 따른 콘크리트 온도상승은 외기온과 비례하는 것으로 조사되어 운반시간의 단축에 대해 노력하여야 할 것이다.

3) 콘크리트 온도 예측에 관한 시험

레미콘 공장에서 생산하는 콘크리트의 온도를 산출하기 위해 사용한 콘크리트 재료의 규격과 중량 및 온도는 표 9와 같다.

표 9. 콘크리트 재료의 중량과 온도

	물	시멘트	골재		공기연행체	비고
			모래	자갈		
중량(kg)	173	358	819	979	1.01	규격: 25-240-15 (1㎡제조당)
온도(℃)	18	50	1,798			

이상에서 조사한 콘크리트 재료의 중량과 온도를 이용하여 비빔시점에서의 콘크리트 온도를 산출해보면 다음과 같다.

$$\theta = \frac{0.2(25 \times 1,798 + 50 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173} = 26.0$$

이상의 배합으로 실제 생산된 콘크리트의 온도를 실측해보면 표 10과 같다.

표 10. 생(Fresh)콘크리트 실측온도(℃)

회수 항목	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균
	콘크리트 온도	26.9	27.5	27.7	27.4	27.6	27.9	27.9	28.1	28.4	

여기서 비빔온도 산정식에 의한 콘크리트 온도와 실측온도가 1.8℃ 정도의 차이가 났는데 그 원인을 살펴보면 산정식에 의한 온도는 시멘트 수화열과 비빔 때 마찰에 의한 열이 고려되지 않았기 때문으로 사료된다.

4) 기온에 따른 콘크리트 온도예측

콘크리트에 사용되는 재료 중 시멘트의 냉각은 풍화현상을 유발하기 때문에 그 조치가 매우 어려운 실정이며, 골재의 냉각은 함수량을 변화시켜 배합설계시 적용하기 곤란한 실정이

므로 콘크리트 온도저감을 위해서는 배합수를 냉각하여야 한다. 따라서, 본 절에서는 배합수로 항온인 지하수를 이용하고 대기온과 거의 비례하여 변화하는 골재온도를 대기온과 동일하게 가정하여 기온에 따른 콘크리트의 온도를 예측하고자 한다.

여기서 시멘트 온도는 앞절에서 조사한 결과 중 최악의 조건인 60℃, 지하수 온도는 가장 많이 측정된 18℃, 골재온도는 직사광선에 노출 안 된 것을 전제로 기온과 동일한 것을 기준으로 한다.

사용한 콘크리트 재료의 규격과 중량은 표 11과 같다.

표 11. 콘크리트 재료의 중량과 온도

재료 항목	물	시멘트	골재		공기연행체	비고
			모래	자갈		
중량(kg)	173	358	819	979	1.01	규격: 25-240-15 (1㎡제조당)
온도(℃)	18	60	1,798			

이러한 조건으로 서중 환경인 25℃부터 기상대 관측 일 최고기온인 35℃까지 대기온에 따른 콘크리트의 비빔온도를 예측하면 표 12와 같다.

표 12. 콘크리트 비빔온도 산정

항목 대기온	콘크리트 비빔온도 산정식	비빔 온도
25℃	$\frac{0.2(25 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	27.1℃
26℃	$\frac{0.2(26 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	27.7℃
27℃	$\frac{0.2(27 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	28.3℃
28℃	$\frac{0.2(28 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	28.9℃
29℃	$\frac{0.2(29 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	29.5℃
30℃	$\frac{0.2(30 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	30.1℃
31℃	$\frac{0.2(31 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	30.7℃
32℃	$\frac{0.2(32 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	31.3℃
33℃	$\frac{0.2(33 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	31.9℃
34℃	$\frac{0.2(34 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	32.5℃
35℃	$\frac{0.2(35 \times 1,798 + 60 \times 358) + 18 \times 173}{0.2(1,798 + 358) + 173}$	33.1℃

이상의 결과와 앞 절에서 산정한 비빔온도 보정값 1.8℃를 기준으로 온도 보정값을 정리하면 표 13과 같다.

표 13. 대기온에 따른 콘크리트 비빔온도

대기온 (℃) 항목	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	콘크리트 온도 예측	27.1	27.7	28.3	28.9	29.5	30.1	30.7	31.3	31.9	32.5
온도 보정	28.9	29.5	30.1	30.7	31.3	31.9	32.5	33.1	33.7	34.3	34.9

이상과 같이 서중 환경인 기간 중 대기온의 변화에 따른 콘크리트의 온도를 예측해 본 결과 대기온이 27℃ 이상인 경우부터는 콘크리트의 온도 저감을 위한 대책이 수립되어야 할 것이다.

4.3 서중(暑中)환경시 콘크리트 재료 품질관리 분석

콘크리트를 냉각하는 것은 가열시키는 것 보다 냉각장비와 경비가 고가이므로 냉각온도 범위를 정확히 파악하여 경비를 절감하도록 조치하여야 한다. 콘크리트의 냉각을 위해서는 골재의 냉각효과가 가장 큰 것으로 조사되었으나, 현재 골재의 냉각을 위해 시행하는 살수는 골재의 함수상태를 변화시켜 콘크리트의 품질을 변화시키므로, 다음으로 효과가 큰 배합수를 냉각하는 것이 가장 좋을 것이며, 배합수를 냉각하는 방법으로 얼음 조각을 사용하는 것이 가장 효과적이고 경제적으로 조사되었다.

일반적으로 콘크리트 1m³의 온도를 1℃ 낮추는데는 5.8kg 정도의 얼음이 필요하며, 얼음 덩어리를 사용하는 방법과 얼음 조각을 사용하는 두 가지 방법이 있는데 두 경우 모두 콘크리트의 혼합이 끝나기 전에 완전히 녹아야 한다⁷⁾는 전제조건이 있다.

따라서 서중 콘크리트 적용기간 내에서 냉각을 필요로 하는 최소한의 기온과 냉각온도 범위를 파악하고, 냉각경비가 최소화되도록 얼음량을 산정하여 제안하고자 한다.

단, 본 제안은 레미콘공장에서 조사한 지하수 온도 중 가장 많이 측정된 18℃를 기준으로 했으며, 생(Fresh)콘크리트의 온도가 30℃이하가 되는 조건으로 산정했다. 또한 레미콘공장에서 조사한 골재온도가 거의 대기온도와 유사한 관계로 본 제안에서는 동일한 것으로 적용한다.

표 14는 기온별 콘크리트 온도와 사용 얼음량 및 배합수량 등을 산출하여 나타낸 표이다.

표 14. 기온별 사용 얼음량 산정

항목 기온	배합수 온도 (℃)	골재 온도 (℃)	콘크리트 비빔온도 (℃)	콘크리트 비빔온도 보정값 (℃)	냉각 온도 범위 (℃)	사용 얼음량 (kg)	배합수량 (kg)	비고
25℃	18	25	27.1	28.9	0	0	173	단 위 수 량:173kg 비빔온도 보정값: +1.8℃
26℃	18	26	27.7	29.5	0	0	173	
27℃	18	27	28.3	30.1	0.1	0.58	172.42	
28℃	18	28	28.9	30.7	0.7	4.06	168.94	
29℃	18	29	29.5	31.3	1.3	7.54	165.46	
30℃	18	30	30.1	31.9	1.9	11.02	161.98	
31℃	18	31	30.7	32.5	2.5	14.50	158.50	
32℃	18	32	31.3	33.1	3.1	17.98	155.02	
33℃	18	33	31.9	33.7	3.7	21.46	151.54	
34℃	18	34	32.5	34.3	4.3	24.94	148.06	
35℃	18	35	33.1	34.9	4.9	28.42	144.58	

이상에서 산정한 사용 얼음량을 분석해 보면 서중 콘크리트 적용기간 내에서 대기온 27℃ 이상인 경우부터 콘크리트의 온도저감을 위한 대책수립이 필요하다고 분석되며, 대기온에 따른 사용 얼음량을 그래프로 나타내면 그림 7과 같다.

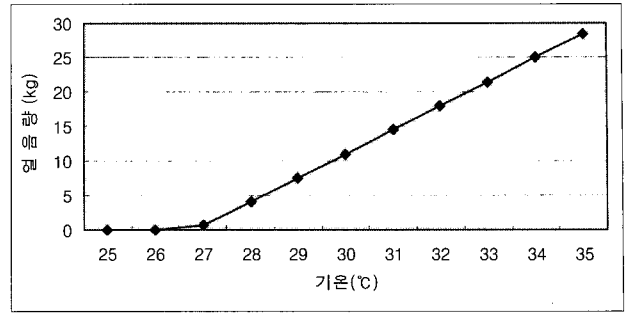


그림 7. 대기 기온에 따른 사용 얼음량

따라서 서중 콘크리트 생산 시 위의 그래프를 참조하여 콘크리트를 생산하거나 다른 적당한 조치를 취하여야 서중 콘크리트의 품질이 확보될 것으로 사료된다.

5. 결 론

서중환경이 콘크리트의 시공환경과 어떤 관련성이 있는지 조사하기 위하여 전국 8개 대도시의 기상자료를 중심으로 적용기간과 일수를 조사하고 분석한 결과 대구가 가장 긴 지역으로 판명되었으므로 이 지역의 콘크리트 재료에 대한 현장 품질관리 실태를 조사하여 품질관리상 문제점을 파악하고, 해결방안이 될 기초자료를 도출하였다. 이 기초자료를 바탕으로 현장별로 상이하게 적용되고 있는 품질관리 기준을 통합하기 위하여 다양한 시공환경 조건의 시험과 품질관리 항목의 분석을 통하여 서중 환경시 콘크리트 재료의 시공지침과 시공계획서 작성에 필요한 콘크리트 재료 품질관리에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대구지역의 서중 콘크리트 적용기간은 6월초에서 9월초까지로 분석되었으므로 기존의 관행을 변경하여 현장품질관리 계획서는 5월 중순경에 작성 및 검토하도록 조치해야 할 것이며, 콘크리트 타설시간도 일사와 최고온도 발현시각 등을 고려하여 정오부터 오후 6시까지의 타설을 제한할 수 있도록 계획을 수립하여야 할 것이다.
- 2) 생콘크리트의 온도와 현장 도착 콘크리트의 온도분포를 조사해 본 결과 운반시간은 대부분 45-55분 정도이고 온도기준치에 적합한 것으로 조사되어 레미콘공장에서 골재, 시멘트, 배합수 등의 온도관리는 대체로 우수하였다. 그러나 장시간 운반시간과 대기시간 및 펌프카로 압송시 온도상승이 비례하는 것으로 조사되어 콘크리트 품질확보를 위해 온도 관리에 주의해야 할 것이다.
- 3) 사용한 콘크리트 재료의 규격과 중량 및 온도를 이용하여 비빔시점에서의 콘크리트 온도를 예측해 본 결과 26℃이며 동일한 배합으로 생산된 콘크리트의 온도를 실측해 본 결과 평균 27.8℃로 나타났다. 이러한 차이는 시멘트 수화열과 마찰에 의한 열이 고려되지 않았기 때문으로 사료되며, 서중 콘크리트 온도 예측시 비빔온도 산정식에 의한 온도와 생산

7) 사우디아라비아에서의 서중 콘크리트 시공, 콘크리트 학회지, p.p. 39, 1994. 8

된 시점의 온도보정치를 1.8℃정도로 고려하여 산정해야 할 것이다.

- 4) 서중환경인 기간 중 대기온의 변화에 따른 콘크리트 온도를 예측해 본 결과 대기온이 27℃이상인 경우부터는 콘크리트 온도 저감을 위한 대책이 수립되어야 할 것으로 판단되며 냉각온도 범위와 얼음을 이용한 냉각방법을 사용할 경우 최소 얼음량을 산정하여 제안하였다.

향후 연구로는 본 연구에서 수행하지 못한 서중 환경에서 콘크리트 시공에 영향을 미치는 요소를 조사·분석하고 이러한 요소들을 개선하기 위한 시험을 실시하여 품질관리 방안을 제시하여야 할 것이다. 또한 혼화제를 이용한 서중 콘크리트의 성능향상 및 강도향상에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김영태, 서중 콘크리트의 적용기간 설정 및 시공품질관리에 관한 연구, 청주대 산업대학원 석사논문, 1997. 6
2. 박승범, 윤의식, 현장에서의 콘크리트의 시공 및 품질관리, 콘크리트학회지, 9권, 2호, 1997. 4, p.p. 30~38
3. 배도선 외 6인, 최신 통계적 품질관리, 영지문화사, 2001
4. 사단법인 대한건축학회, 건축공사 표준시방서, 1999
5. 사단법인 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 기문당, 1999
6. 신성우, 시공 방법상의 현장 콘크리트 품질 향상 방안, 콘크리트학회지, 7권, 2호, 1995. 4, p.p. 38~42
7. 윤상대, 배수호, 배합설계상의 현장콘크리트 품질향상 방안, 콘크리트학회지, 7권, 2호, 1995. 4, p.p. 23~37
8. 장석준, 이상태, 사우디아라비아에서의 서중콘크리트 시공, 콘크리트학회지, 6권, 4호, 1994. 8, p.p. 37~41
9. 전명훈 외 5인, 운반, 펌프운송이 콘크리트 품질에 미치는 영향에 관한 실험연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 15권, 2호, 1995. 10, p.p. 819~824
10. 조준현, 건축재료학, 기문당, 2003, p.p. 171~266
11. 한국건설기술연구원, 한중 및 서중 콘크리트 사용 지침을 위한 조사연구, 1986, p.p. 151~372
12. 한민철, 한천구 공저, 기온과 콘크리트, 기문당, 2002, p.p. 225~287
13. 한천구, 기온에 대응하는 콘크리트 시공, 대한건축학회지, 1997. 6, p.p. 4~5
14. 한천구, 레미콘 품질관리, 기문당, 2002, p.p. 149~176
15. 한천구, 서중 및 한중콘크리트 적용기간 설정, 콘크리트학회지, 9권, 4호, 1997. 8, p.p. 4~13
16. ACI Committee 305, Hot Weather Concreting, Manual of Concrete Practice, 1991, p.p. 305R-1~305R-20
17. ACI Committee 305, Making Good Concrete in Hot Weather, Concrete International, Vol.14, No 4, 1992. 4, p.p. 55~57
18. Calvin L.Dodl, Hot Weather Testing, Concrete International, Vol.19, No 10, 1997. 10, p.p. 55~56
19. Ray D.Griggs, Hot Weather Concreting Experience in Georgia, Concrete International, Vol.17, No 9, 1995. 9, p.p. 55~57
20. www.kma.go.kr(기상청 홈페이지)