



기술 기고

콘크리트의 효율적인
양생방법

콘크리트의 효율적인 양생방법

1. 서언

최근 건설공사 현장에서는 콘크리트의 균열, 강도 미달, 내구성 저하 등 품질 문제가 심각한 수준인 것으로 보고되고 있다. 즉, 잔·굵은 골재 등 원자재의 품질이 매우 열악한 상태에서, 레미콘 배합도 정상을 벗어나고 있고, 사공 또한 원칙을 준수하지 않는 사례가 발생함에 따른 결과이다. 옛 속담에 “업친데 덥친 격”이라는 표현이 합당할 수 있는데, 이와 같은 문제를 풀기 위해서는 많은 요소가 얹혀있어 쉽지 않은 게 사실이다. 그러나 의외로 많은 문제 중에서 하나만 해결하더라도 많은 문제점이 커버 될 수도 있는데, 그것이 바로 콘크리트의 양생이라고 사료된다.

그러므로 본고에서는 콘크리트의 양생과 관련된 기본적인 기술에 대하여 소개하고, 이울러 우리나라 실정에 맞게끔 우리나라에서 개발되어 전세계적으로 보급하고 있는 양생용 버블시트에 대하여 소개함으로써 건설관리 담당자가 리드하여 진행하는 건설공사 현장의 콘크리트 품질향상 방안의 VE 활동 등에 기여할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

2. 콘크리트 양생의 개요

(1) 우리나라의 기후 특색과 콘크리트

전세계 어느나라든지 그 위치별로 독특한 기후 특색을 갖는다. 우리나라의 경우는 유라시아 대륙 동안의 북위 중위도 지역에 위치하여 대륙의 영향을 직접 받아 같은 위도의 다른 나라에 비하여 평균 기온은 낮고 연교차가 매우 큰 대륙성 기후의 특색을 나타낸다. 즉, 11월부터 3월까지 5개월간은 출고 건조한 겨울과 6월부터 9월까지 4개월간은 무덥고 습한 여름철이 차지하고, 살기 좋은 4~5월의 봄과 10월의 가을은 짧은 기간을 나타내는 특징을 갖는데, 특히 봄가을철에는 건조한 환경이 특징적이다.

따라서 우리나라의 기후의 특색이 콘크리트에 미치는 영향으로는 겨울철에는 초기 동해를 고려해야 하고, 여름철에는 지나친 고온에 의한 콘크리트의 온도상승, 봄가을에는 건조수축의 영향을 고려해야 한다.

(2) 양생의 정의 및 분류

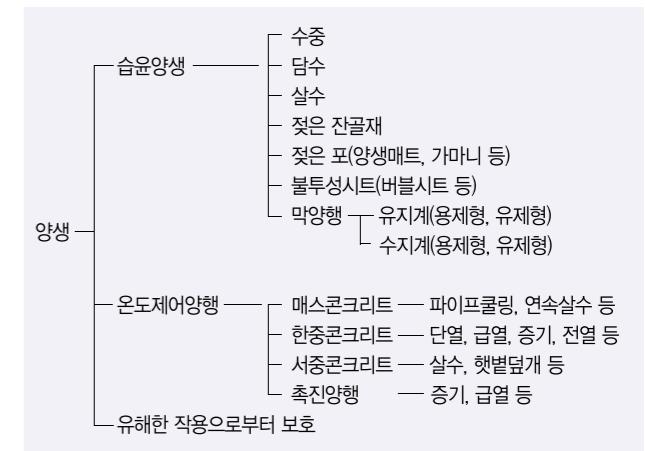
양생(養生: Curing)이란 보양(保養)이라고 하는데, 말뜻대로 하면 보호(保護)하고 양육(養育)하는 것이다. 인간 성장과정으로 예를 들면 양생이란 태어난 신생아의 경우는 연약하고 주위환경에 잘 적응하지 못하므로 춥고 더움으로부터 보호하고, 먹여주고 재워 주며, 병에 걸리지 않도록 예방주사도 맞추며, 학교에 보내 공부를 시켜서 성숙한 성인이 되도록 키워주는 일련의 과정을 말하게 되는 것이다.

그런데 콘크리트의 경우에 있어 양생이란 타설이 끝난 콘크리트가 시멘트의 수화 반응에 의하여 충분한 강도를 발현하고, 균열이 생기지 않도록 하기 위하여 일정기간 동안 적당한 온도조건을 유지하며, 수분을 공급하고, 유해한 작용의 영향을 받지 않도록 보호해주는 것이다.

콘크리트 양생의 분류는 <그림 1>과 같은데, 구체적인 방법은 <그림 1> 중에서 효과적인 방법을 택하면 될 수 있고, 필요한 일수는 각각의 해당 방법에 따라 구조물의 종류, 시공조건, 입지조건 및 환경조건 등 상황에 따라 정하게 된다.

(3) 습윤양생

양생은 굳지 않은 콘크리트에서 시멘트 입자 사이의 공간에 원래 물로 채워져 있던 공간을 시멘트 수화작용에 의한 수화생성물로 소요의 정도만큼 밀실하게 채워질 때까지 콘크리트를 포화상태(飽和狀態) 또는 포화에 가까운 상태로 유지하는 것이다. 즉, 콘크리트는 타설 후 직사광선, 바람 등에 의하여 표면이 급격히 건조하면 수축응력이 생겨 균열이 발생하고, 내부수분까지 건조하여 시멘트의 수화반응이 충분하지 못하면 건조수축균열에 강도 및 내구성도 저하하게 된다. 따라서 타설이 완료된 콘크리트는 수증, 담수, 살수<(사진 1 참조)>, 젖은 잔골재, 양생포<(사진 2 참조)>, 불투수성 시트, 막 양생재 등으로 수분이 증발하지 않도록 하는 조치를 취하여야 한다.



<그림 1> 양생의 분류



한천구

청주대학교 건축공학과 교수



<사진 1> 살수양생



<사진 2> 양생포(부직포)양생

그러나 옛날에는 가마니를 잘라 덮어 주고 살수하거나, 양생매트인 부직포를 덮어주고 살수하는 방법을 많이 채택하였으나, 최근에는 특히 아파트와 같은 초고층 건축물인 경우, 공사기간의 준수가 중요하고, 또한 물 사용 번잡성 등의 이유를 들면서 아무런 양생조치 없이 콘크리트 공사가 진행되는 것을 보면 그저 안타까울 따름이다.

이때 콘크리트 표준시방서에 규정되어 있는 습윤상태로 보호하는 기간은 <표 1>과 같다.

<표 1> 습윤양생기간의 표준

일평균기온	보통포틀랜드 시멘트	고로슬래그 시멘트, 플라이 애시 시멘트 B종	조강 포틀랜드 시멘트
15°C 이상	5일	7일	3일
10°C 이상	7일	9일	4일
5°C 이상	9일	12일	5일

상기 표에서 특히 고로슬래그 미분말 30~60%를 함유한 고로슬래그 시멘트 2종(시방서에는 일본규격인 B종을 지칭하고 있음) ; 시중에서 가장 많이 사용됨이나 플라이 애시 20~30%를 함유한 플라이애시 시멘트 2종(전과 동일)의 경우, 온도에 따라 7~12일간 습윤양생하도록 규정하고 있는데, 최근 혼화재를 다량 치환한 레미콘을 주로 활용하는 현실에서 반드시 유념하고 준수해야 할 중요한 사안이다.

(4) 온도제어양생

콘크리트 양생 시 시멘트의 수화반응은 온도에 의하여 현저하게 영향을 받는다. 즉, 겨울철과 같이 외기온이 낮은 경우는 초기동해 및 강도연발현 등의 문제가 있으므로 급열, 단열보온 및 양자 병용 등 온도제어 양생을 어느 일정기간 이상 실시할 필요가 있다.

또한, 여름철과 같이 현저하게 외기온이 높은 경우는 콘크리트의 냉각대책, 일사열 등에 의한 온도상승 방지대책, 수분증발 방지 대책 등이 필요하다. 아울러 매스콘크리트, 고강도 매스콘크리트와 같이 온도상승이 커서 중심과 부재표면 간에 큰 온도차가 생길 것이 예상되는 경우에는 프리쿨링, 파이프쿨링, 표면단열보온양생 등 온도차를 제어할 필요가 있다.

콘크리트 2차 제품 생산과 같은 경우에 콘크리트의 경화촉진을 위해서는 증기양생, 급열양생, 전기양생, 오토클레이브 양생 등이 필요한데, 이들 방법은 콘크리트에 나쁜 영향을 주지 않도록 양생개시시간, 온도상승속도, 냉각속도, 양생온도 및 양생시간을 적절하게 정해야 한다.

(5) 유해한 작용에 대한 보호

콘크리트는 양생기간 중에 예상되는 진동, 충격, 과대하중 등의 유해한 작용으로부터 균열 등 손상을 받지 않도록 보호해야 한다. 이 부분도 상당히 많은 주의가 필요하지만 지면 관계상 생략한다.

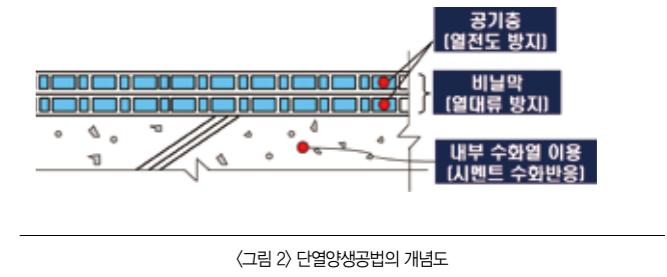
3. 동절기용 버블시트

(1) 2중 버블시트의 단열원리

일반적으로 콘크리트는 시멘트의 수화반응 과정에서 열을 발생시키며 굳어지는 수경성 재료이다. 따라서 추운 겨울철 외부의 찬 기온을 효과적인 단열재로 막아줄 수만 있다면 내부에서 발생하는 열로 콘크리트가 초기에 얼어서 발생하는 초기동해 피해를 막을 수 있고, 또한 강도증진도 양호하게 발휘할 수 있다.

또한, 열과 관련한 전달문제는 전도, 대류, 복사의 관점에서 고려할 수 있다. 먼저 이중 전도문제는 공기층을 기본으로 하는 단열 재로 막을 수 있고, 대류는 공기의 흐름을 막는 기밀재(비닐과 같은 재료)로 막을 수 있으며, 복사는 은박지와 같은 재료로 반사를 일으키는 것으로 차단할 수 있다.

그렇다면 한중에 타설한 콘크리트의 경우는 <그림 2>와 같이 수화반응에서 발생하는 수화열을 다중의 공기층으로 전도를 막고, 다중의 비닐막 소재로 대류를 막을 수 있다. 단, 복사에 의한 열손실을 막기 위해 알루미늄 증착층(소위 은박층)을 고려할 수도 있지만, 이것은 작업자들을 눈부시게 하는 문제와 햇볕이 있는 일과 중에는 태양광 복사열을 받을 수 없는 점 및 제조원 가의 저렴화도 고려하여 투명으로 제조하고 있다.



<그림 2> 단열양생공법의 개념도

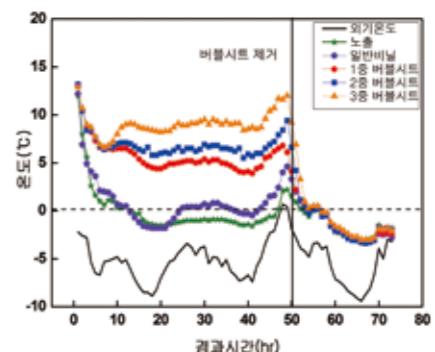
버블시트의 경우 공기층을 몇 중으로 할 것인가도 중요한 사항이다. <그림 3>은 -10°C부터 0°C까지 오르내리는 겨울철 외기온 조건 하에서 콘크리트 타설 후 노출, 일반 비닐, 1중~3중 버블시트를 포설하고 온도이력을 측정한 데이터이다. 그림에서 보는 바와 같이 노출과 비닐보양은 10시간 정도 경과한 시점에서 영하로 저하하는 모습을 볼 수 있다. 그러나 1~3중 버블시트는 타설 후 2일간까지 영상을 유지하며 얼지 않는 것을 볼 수 있는데, 1,2,3 중으로 중첩도가 증가할수록 효과는 우수해진다. 그러나 1중은 불안한 감이 있고 3중 이상은 가격이 증가하는데 비하여 그만큼 효과가 크지 않아 결국 2중 버블시트 정도이면 효과적일 것으로 판단되었다.

(2) 실무적용 사례 및 우수성

한중콘크리트용 2중 버블시트를 최초로 개발한 이후 현재까지 국내외 각종 건설현장에서 수백여 건을 적용한 바 있어 우수한 효과를 입증한 사례는 무수히 많지만, 그중 대표로 오산에 있는 OO물류센터 현장을 꼽을 수 있다.

2006년 겨울 <그림 4>와 같은 넓은 면적의 물류센터 바닥을 콘크리트로 타설할 수밖에 없었다. 때마침 레미콘 공급사를 선정하고 있을 무렵 모 시멘트(주)기술 연구소의 한 제자로부터 버블시트가 소개되었고, 이를 적극 검토한 OO건설 측에서 실구조체 양생에 적용하게 되었다. 이때의 시공모습은 <사진 3>, 온도측정 결과는 <그림 5>와 같았다. 즉, 외기온은 -10°C까지 하강하는 시기임에도 불구하고 하부, 중앙부, 상부 및 표면부의 온도는 30°C 전후로 발현되어 우수한 양생 결과를 나타내었다.

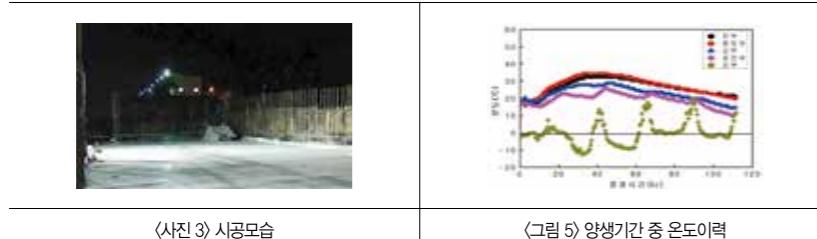
결국 공사 완료 후의 분석은 <표 2>와 같았다. 즉, 품질 관리, 공정관리, 현장관리 측면에서도 우수하였지만 원가관리측면에서 가열보온양생을 실시하였다며 5억 3천만 원, 방동제를 사용하였다며 4억 1천만 원이 소요되었지만 2중 버블시트를 사용함에 따라 1천 4백만 원에 공사를 완료할 수 있어 결국 97% 전후의 막대한 공사비를 절감할 수 있었다.



<그림 3> 각 버블시트별 온도이력특성



<그림 4> 오산 OO물류센터



〈표 2〉 양생방법 간 비교

공 법	2중 버블시트	방동제	가열보온양생(가시설)
품질 관리	<ul style="list-style-type: none"> 안정된 양생온도 관리 초기 동해 방지 표면 건조수축 균열방지 신구 접착성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 동해방지, 표면 보온양생 필요 신구 접착성 검증 필요 외기노출 시 표면 균열발생 우려 현장 시험배합기간 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 동해방지 불규칙한 양생온도로 품질저하 표면건조 수축균열 발생 탄화가스에 의한 품질저하
공정 관리	<ul style="list-style-type: none"> 장 SPAN 동시 타설가능 공기단축 탁월, 시공 JOINT축소 	<ul style="list-style-type: none"> 공기단축가능 장 SPAN 동시타설 	<ul style="list-style-type: none"> 공사기간 소요, 가시설 설치, 해체기간소요 SPAN별 분리타설, 시공 JOINT 큼
원가 관리	<ul style="list-style-type: none"> 380원/m²당 (4회 전용 시) (당현장 : 1천4백만 원) 	<ul style="list-style-type: none"> 11,000원/m²당 (재료비 : 4억1천만 원) 	<ul style="list-style-type: none"> 14,000원/m²당(연료비 포함) (총소요액 : 5억3천만 원)
현장 관리	<ul style="list-style-type: none"> 시공성 우수 정리정돈 용이, 재활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 시공성 우수 표면 보온 양생포 처리 	<ul style="list-style-type: none"> 시공성 난이 천막 폐기물 반출 필요

〈2〉 가을철 환경에서의 균열억제



〈사진 4〉 1층 백색 버블시트 피복 〈사진 5〉 폴리에틸렌 필름 피복 〈사진 6〉 1층 백색 버블시트 양생 〈사진 7〉 폴리에틸렌 필름 양생

서중환경에서 적용한 1층 백색 버블시트와 PE필름을 이번에는 세종시 모 건설 아파트 23층 바닥슬래브에 2015년 10월 13일에 타설하였다(사진 4~7 참조). 온도이력의 경우는 표면양생재 간에 거의 차이가 없었으나 〈그림 7〉과 같이 버블시트 적용구간에는 침하균으로 철근을 타고 넘으며 피복 양생을 실시하므로 노출공간이 존재함에 따라 다수의 건조수축균열이 발생하였다.

참고적으로 경제성분석 면으로도 백색 버블시트의 경우는 바닥평면에 맞춰 공장에서 몇 개의 조각으로 제작하여 10개층 이상의 재활용이 가능한 만큼 초기비용은 비쌀지라도 재료비는 저렴하고, 균열보수비 등도 포함한 전체 공사비는 〈표 3〉과 같이 PE필름보다 25% 이상 저렴하게 되었다.



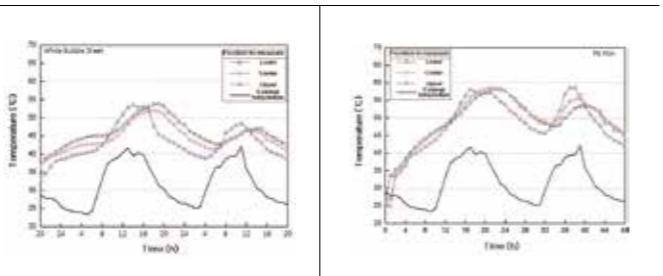
〈그림 7〉 슬래브의 균열모습

4. 하절기용 백색 1중 버블시트

1) 서중환경에서의 온도상승억제

버블시트의 종류로는 1중, 2중, 3중, 4중의 중첩도 의한 구분과 투명, 백색, 흑색, 은색 등 표면색상에 의한 구분, 일반용과 메쉬타포린보강 등 보강여부에 따른 구분이 있다. 이중 동절기에는 2중 투명 버블시트를 권장하였고, 하절기용은 1중 백색 버블시트를 권장하며, 특별한 경우 블루시트(천막지) 대용으로는 1중, 2중의 투명버블시트에 메쉬타포린이 보강된 것을 추천하고 있다. 따라서 본 절에서는 여름철 백색 1중 버블시트의 활용으로 실제 APT 건설 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

작용 현장은 충남 천안에 위치한 모 건설의 APT 2층의 시공으로 2016년 8월 10일에 25~24~150 레미콘을 타설하였다. 표면양생재로는 1중 백색 버블시트, 1중 은색 버블시트, 1중 투명 버블시트, PE필름 및 노출 상태의 5조건에 대하여 콘크리트의 온도 및 균열 양상을 비교하였다. 온도 특성은 1중 은색(알루미늄 증착층 침입) 버블시트와 노출인 조건에서 제일 온도가 낮게 나타났고 다음은 백색 버블, PE필름, 투명 버블의 순이었다. 그러나 은색 버블시트는 온도상승 억제효과는 좋은 대신 기능공들의 눈부심과 관련한 시각 공해가 문제시 되었고, 노출의 경우는 균열문제를 피할수 없었음에 백색버블 시트가 무난한 방법으로 판단되었다. 참고적으로 이때에 기록된 백색버블시트와 PE필름의 온도이력은 〈그림 6〉과 같이 비교된다.



〈그림 6〉 양생재별 콘크리트의 온도이력

〈표 3〉 표면 양생 방법별 경제성 분석 (118m²)

시공 횟수 (누계)	재료비 ¹⁾		인건비 ²⁾		균열보수비 ²⁾		폐기물 처리비 ³⁾	
	버블 시트	PE 필름	버블 시트	PE 필름	버블시트 (0.760m)	PE 필름 (15.030m)	버블시트 (0.472m ³)	PE 필름 (0.012m ³)
전용횟수 및 가격	1회 2,000원/m ²	1회 310원/m ²	358/m ² (포설, 정리)		1,315원/m		44,273/m ³ -폐기물	
1회	236,000	36,580	42,244	42,244	333	6,588	20,897	531
5회	236,000	182,900	211,220	211,220	1,665	32,940	20,897	2,625
10회	236,000	365,800	422,440	422,440	3,330	65,880	20,897	5,310

* 버블시트 적용 시 10회 사용할 때 5% 손실율 적용

1) 재료비는 (주)중원G.L.B의 라미론 카다로그 단가 참조

2) 인건비, 균열보수비는 건설공사 표준품셈 및 대한건설협회 노무비 참조 (2015. 09.)

3) 폐기물 처리비는 한국건설자원협회 단가 참조 (2015. 01.)

5. 결언

최근 우리나라의 건설공사에서는 공기단축 문제이며, 물 사용에 따른 불편함 등으로 최소한의 양생도 이루어지지 않는 경우가 있다. 그러나 지나친 공기단축만이 능사는 아니므로 조금만 여유를 갖고 품질이라는 관점에서 다시 돌아보고 버블시트양생과 같은 최소한의 양생만이라도 고려한다면 현재 건설현장에서 발생하는 균열의 절반 이상은 방지되고, 한중시공에서는 초기동해 방지, 서중환경에서는 콘크리트 온도 상승억제, 마스콘크리트에서는 중심과 표면 간의 온도차 억제로 수화열 균열방지 등 여타의 품질도 향상될 것으로 예측된다. 따라서 현장건설관리 담당자들의 경우 건설물의 VE 활동 등에 본 버블시트 양생법 등을 가능한 많이 활용하여 조금이라도 우리나라 콘크리트의 품질향상에 기여될 수 있기를 건의해 본다. 캐损

※ 외부 필진의 글은 본지 편집 방향과 다를 수도 있습니다.