

건조수축 저감형 유동화제 및 2중 버블시트를 사용한 콘크리트의 현장적용

Field Application of the Concrete with the Combination of Drying Shrinkage-Reducing Superplasticizer and Double Layer Bubble Sheet

한 천 구*

Han, Cheon-Goo

오 치 현**

Oh, Chi-Hyun

신 재 경***

Shin, Jae-Kyung

Abstract

This study investigates the field application in Daebul Free Trade Zone applying both a flowing method using drying shrinkage-reducing superplasticizer(SRS) and an insulating curing method using double layer bubble sheet. Test results showed that fresh concrete satisfied target slump and air content. A structure adding SRS significantly decreased the total bleeding capacity and accelerated the setting time. As for the crack occurrence, the structure applying the flowing method and double bubble sheets simultaneously exhibited the most favorable crack endurance, while conventional concrete showed more than 1mm size of crack in overall. In addition, a structure applying the flowing concrete method partially presented the micro crack. For the area proportion of crack occurrence, the structure using the double bubble sheets indicated 9.8%, while others applying flowing concrete method was 28%, compared with that of conventional one. For the compressive strength of specimens, standard curing specimens indicated 3~33% higher value than that of specimens cured besides the field construction. The specimens containing SRS improved the strength of 2~6MPa, which is 10~22% higher than that of conventional concrete.

키 워 드 : 건조수축 저감형 유동화제, 2중 버블시트, 건조수축

Keywords : Drying Shrinkage-Reducing Superplasticizer, Double Layer Bubble Sheet, Drying Shrinkage

1. 서 론

콘크리트는 압축강도가 크고, 내구성 및 내화성이 우수하며 경제성, 시공성, 형태구성의 편리함 등으로 인하여 건축구조물에 가장 많이 사용되고 있는 재료중 하나이다. 한편, 이러한 콘크리트는 인장강도가 작고, 자중이 크며, 파괴나 모양변경이 어려운 점 등 여러 단점중 가장 큰 결점으로는 균열발생이 용이한 것을 들 수 있다. 콘크리트에서 균열의 발생은 여러 종류 및 원인으로 분석되고 있지만, 실무시공 측면에서는 소성수축 균열 및 건조수축 균열이 가장 많이 문제시 되고 있다.

최근의 콘크리트 구조물은 대규모 및 고층화되어 균열발생이 용이함에도 불구하고 양호한 천연골재 자원의 고갈에 따른 저품질 골재사용, 기능공 부족에 따른 힘든 작업 기피 및 펌프카의 시공능력향상과 관련한 레미콘 가수 등 불량 시공으로 건조수축균열발생 가능성이 증척하여 증가하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 유동화 콘크리트 공법의 도입으로 즉, 낮은 슬럼프의 양호한 콘크리트 품질을 유지하면서 시공성만을 향상시키는 방법이 효과적이다.

그러나, 저품질 골재에 의한 균열 문제를 근본적으로 해결하면서 시공성능을 향상시키고 또한, 경화 후 건조수축 균열방지 등 콘크리트의 품질을 획기적으로 향상시키기 위해선 기존의 유동화 공법보다 더욱 향상된 유동화 공법이 필요한 실정이다.

또한, 소성수축 균열은 콘크리트를 타설한 후 건조한 외기에 콘크리트가 노출될 경우 급작스런 표면의 수분증발로 말미암아 콘크리트 외부에 수축현상이 일어나는 것을 말하는데, 이러한 수축현상은 건조되지 않은 내부 콘크리트의 구속으로 표면에 인장응력이 발생하게 되고, 콘크리트의 초기 인장강도를 초과하게 될 경우 균열로 나타난다. 이러한, 소성수축 균열의 방지대책으로는 타설된 콘크리트 표면에 비닐이나 부직포 등 수밀재로 덮어주어야 하나 실무현장에서는 작업의 번거로움으로 인하여 거의 양생이 행해지고 있지 않은 실정이다.

이와 같은 건조수축 균열 및 소성수축 균열을 저감하고자 본 연구팀에서는 콘크리트의 건조수축균열을 저감하고 시공능률을 향상시킬 수 있는 건조수축 저감형 유동화제를 개발한 바 있고¹⁾, 또한, 2중 버블시트를 이용할 경우 시공법의 간편, 우수한 단열효과 및 소성수축 균열 억제효과를 연구한바 있다.

그러므로, 본 연구에서는 전남 영암군에 위치한 대불자유무역지역 시설공사에 타설되는 슬래브 콘크리트를 대상으로 개발된 2중 버블시트에 의한 단열양생공법 및 건조수축 저감형 유동화제를 복합하는 유동화 공법을 적용함으로써, 굳지않

* 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

** 청주대 대학원 박사과정, 정회원

*** (주)삼표 기술연구소 연구원, 정회원

은 콘크리트와 경화 콘크리트의 특성 및 슬래브 콘크리트의 균열방지특성에 대하여 보고하고자 한다.

2. 적용공법 개요

2.1 건조수축 저감형 유동화제에 의한 유동화 공법

건조수축 저감형 유동화제는 고강도 콘크리트 제조시 이용되는 폴리칼본산계 유동화제에 에테르계 액상팽창제 용액 및 실리콘계 소포제 용액을 일정비율로 혼합하여 제조된다. 이는 기존 유동화제가 지니고 있었던 단위수량 저감, 시공성 개량 기능을 향상시키고 여기에 부가하여 액상팽창제에 의한 건조수축 저감기능 및 소포제에 의한 AE(air-entraining) 공기량 유지기능을 복합할 수 있도록 한 다기능성 유동화제이다.

폴리칼본산계 유동화제는 1995년부터 국내에서 실용화되기 시작한 혼화제로서 적은 혼입량으로도 분산성이 우수하고, 유동성의 유지특성이 우수한 것으로 확인되었을 뿐만 아니라 콘크리트 품질의 안정성이 높아 향후 고강도, 고내구성콘크리트의 실용화 및 보통콘크리트의 내구성확보를 위한 단위수량규제에 대한 대책으로도 그 유용성이 점점 증대되어지고 있다. 또한, 장시간 운반중에도 슬럼프 로스가 거의 없는 슬럼프 지연특성을 가지고 있으며 높은 조기강도 실현이 가능하다.

액상 팽창제는 건조수축을 저감하기 위하여 첨가되는데, 이때 액상팽창제는 에테르계 용액이 사용된다. 팽창제란 시멘트 및 물과 혼합하였을 경우 수화반응에 의해 에크링가이트 또는 수산화칼슘 등을 생성하고 모르타르 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료로서 현재 국내에 유통되고 있는 팽창제는 대부분이 미분말상의 팽창제이다. 그러나 이는 콘크리트에 혼입하는 경우 혼입분산성이 떨어질 뿐만 아니라 반응성도 늦기 때문에 효과를 충분히 얻을 수 없다. 반면에 액상팽창제는 액상의 특성상 혼입성 및 반응성이 확실할 뿐만 아니라 콘크리트 전반에 균일하게 분산되기가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

소포제 용액은 폴리칼본산계 고성능감수제와 액상팽창제의 혼합시 발생하는 공기량 증대 문제를 해결하기 위하여 첨가된다.

이와 같은 근거에 의거하여 건조수축 저감형 유동화제는, 그림 1과 같이 폴리칼본산계 유동화제, 에테르계 액상팽창제 용액 및 실리콘계 소포제 용액이 1 : 0.5 : 0.0017의 비율로 혼합되어 이루어진다.

2.2 2중 버블시트에 의한 양생공법

버블시트를 이용한 양생공법의 원리는 콘크리트 자체 수화열의 손실 및 이동 방지 및 수분증발 방지의 원리에 기인한다.

2중 버블시트에 의한 양생공법은 그림 2와 같이 시공함으로써 먼저, 그림 3과 같은 개념으로 열손실 및 이동을 막는 방법이다. 즉, 열전도 방지는 열전도율이 가장 낮은 독립기포층으로 구성된 버블시트를 단열재로 사용함으로써 열전도율을 최소화시켰고, 버블시트와 콘크리트를 밀착시켜 덮어 주므로 열대류 현상을 축소 할 수 있다.

또한, 2중버블시트는 폴리에틸렌필름이 기본소재로 구성되어 수분증발이 방지된다. 즉, 폴리에틸렌필름은 수밀구조로서 콘크리트 표면에서 건조를 방지하여 소성수축균열을 근본적으로 방지할 수 있는 방법이 된다. 특히, 1점으로 구성된 폴리에틸렌필름인 경우는 수분증발은 방지할 수 있지만 모서리 및 중앙부 등이 콘크리트에 묻히기 쉬워 제거시 어려움 등 시공에 난점이 있지만, 2중버블시트는 중간에 공기층이 2중으로 되어 어느정도 두께를 가지므로 콘크리트에 묻히지 않고 가벼움으로서 쉽게 제거될 수 있어 시공성도 편리하다.

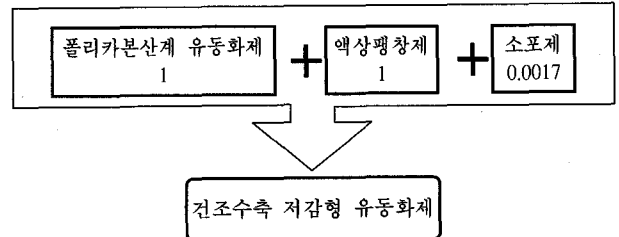


그림 1. 건조수축 저감형 유동화제 혼합비

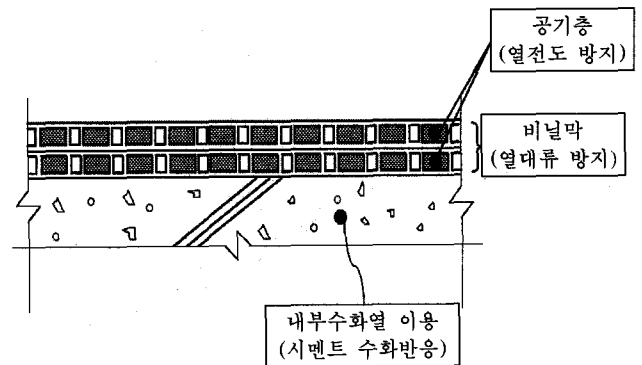


그림 2. 버블시트로 시공한 구조체 단면도

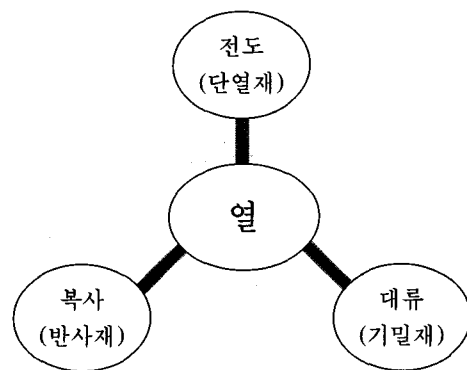


그림 3. 열이동 방지 개념

본 공법의 시공방법으로는, 슬래브 콘크리트를 타설시 마무리작업을 끝내는 동시에 폭 1.8m에 스펠길이에 맞게 물로 제조된 2중버블시트로 슬래브의 상부를 덮어주고, 그 위를 철근 등으로 눌러주어 바람에 날리는 것을 방지한다. 이때, 우리나라 기후조건에서 본 공법으로 콘크리트 양생시, 피복양생기간은 2~3일 전후가 되면 적절하게 된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 공사개요

본 공법을 적용한 대상 현장은 전남 영암군 대불자유무역지역 시설공사로 공사개요는 표 1과 같고, 사진 1은 조감도를 나타낸 것이다.

표 1. 공사개요

공사명	대불자유무역지역 시설공사
현장위치	전남 영암군 삼호읍 나불리 대불국가산업단지내
수요처	산업자원부
발주자	조달청
실제자	(주) G외 8개사
감리자	(주) Y 엔지니어링 종합건축사사무소
시공자	S물산(60%), G건설(30%), N건설(10%)
공사기간	2005.06.07 ~ 2007.06.06 (24개월)
대지면적	145,061.09m ² (43,881.12평)

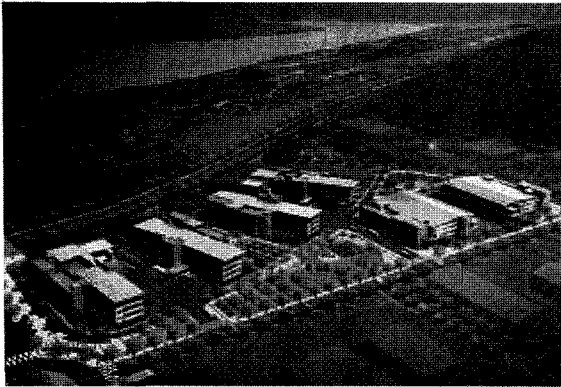


사진 1. 대불자유무역지역 시설공사 조감도

3.2 현장적용 실험계획

본 현장적용 실험은 그림 4와 같이 대불자유무역지역 시설공사 현장 중 경공업공장(C2)의 4층 바닥 슬라브에 건조수축 저감형 유동화제 및 2중버블시트를 적용하는 것으로 하였는데, 실험계획은 표 2와 같다.

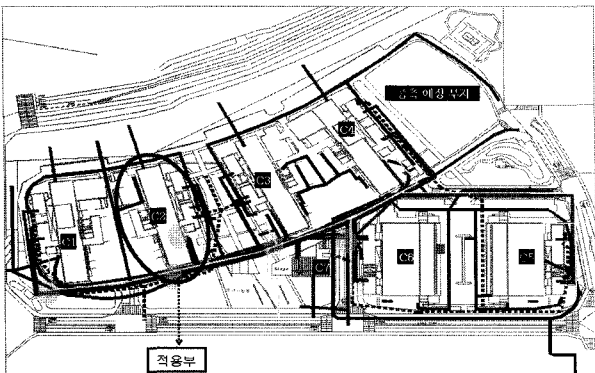


그림 4. 대상 적용현장의 배치도

이때, 타설하는 레미콘은 호칭강도 24MPa를 만족하는 일반 콘크리트로서, 베이스 콘크리트 80±25mm에 개발된 건조수축

저감형 유동화제를 사용하여 150±25mm로 유동화시키고, 이와 비교하기 위하여 현장에서 사용중인 컨벤셔널 콘크리트와 비교분석하는 것으로 하였다. 유동화제를 사용한 부분 중 한 곳에서는 2중 버블시트를 덮어주는 것으로 양생을 계획하였다. 단, 컨벤셔널 콘크리트에 2중버블시트를 덮어주는 것도 가능할 수 있으나, 본 연구는 현장적용 연구로 실험변수를 최소로 할 수 밖에 없었음에 이 부분은 생략하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트는 표 2와 같고, 배합사항은 표 3과 같다.

표 2. 실험계획

실험요인		실험사항
배합사항	호칭강도 (MPa)	· 24
	콘크리트 종류	- I: 컨벤셔널 콘크리트 - II: 건조수축 저감형 유동화콘크리트 - III: 건조수축 저감형 유동화콘크리트 +버블시트양생*
	목표슬럼프 (mm)	- I: 150±25 - II: 베이스=80±25 → 유동화=150±25 - III: 베이스=80±25 → 유동화=150±25
	목표 공기량 (%)	· 4.5±1.5
실험사항	굳지않은 콘크리트	· 슬럼프 · 공기량 · 응결시간 · 블리딩량
	경화 콘크리트	· 균열발생 육안 조사(크랙게이지, 사진 등) · 압축강도 · 표준양생 공시체 · 구조체 관리용 공시체 (3, 7, 28, 56, 91일)

* 양생조건만 변화(공시체 제작안함)

표 3. 레미콘의 배합

콘크리트 종류	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE감수제/ C(%)	유동화제 (%)	질량배합 (kg/m ³)		
						C	S	G
컨벤셔널	49	179	48.4	0.5	-	365	843	919
유동화	49.1	171	47.5	0.5	0.45	348	831	941

3.3 사용재료

본 실험에 사용한 재료는 레미콘사에서 사용되는 일반적인 재료를 사용하였다. 즉, 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.14g/cm³, 분말도: 3265cm²/g)를 사용하였고, 굵은 골재는 전남 해남산 부순 굵은골재(밀도: 2.64g/cm³, 조립률: 6.80), 잔골재는 전남 해남산 세척사(밀도: 2.58g/cm³, 조립률: 2.78)를 사용하였다. 혼화제는 국내 D사의 AE감수제를 사용하였고, 건조수축저감형 유동화제의 제조에 사용되는 유동화제, 소포제는 국내 K사의 제품, 액상팽창제는 국내 D사의 제품을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4. 건조수축 저감형 유동화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)
유동화제	폴리칼본산계	액상	담갈색	1.04
액상팽창제	에테르계	액상	유백색	1.10
소포제	실리콘계	액상	유백색	1.01

표 5. 2중 버블시트의 물리적 성질

종류	두께 (mm)	기포크기 (mm)	열전도율 (W/(m·k))
버블시트	0.05	10	0.20

또한, 표면양생에 사용한 2중 버블시트는 국내에서 시판되는 것으로 표 5의 재료를 사용하였다.

3.4 현장적용 및 실험방법

본 현장적용 실험은 2006년 2월 23일 오전 9시에 진행하였고, 콘크리트 타설시 온도는 2℃였으며, 사용거푸집은 12mm두께 보통 합판이었는데, 구체적인 실험과정은 사진 2와 같다. 이 경우 실험방법으로, 굳지않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F2436의 프록터 관입침저항시험법에 의거 실시하였고, 블리딩량은 KS F 2421에 의거

블리딩수를 측정된 다음 블리딩량을 평가하였다.

경화 콘크리트 실험으로 압축강도는 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 공시체를 KS F 2403 규정에 따라 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였다.

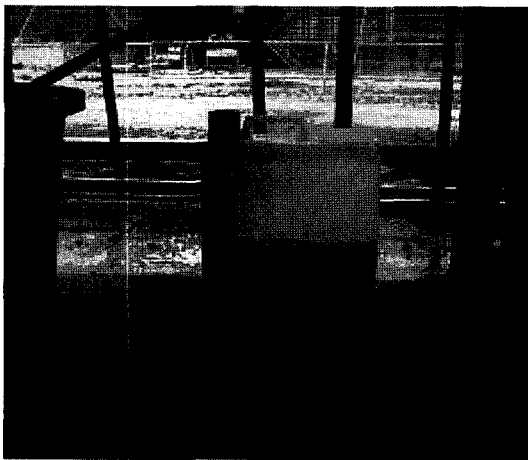
4. 현장적용 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

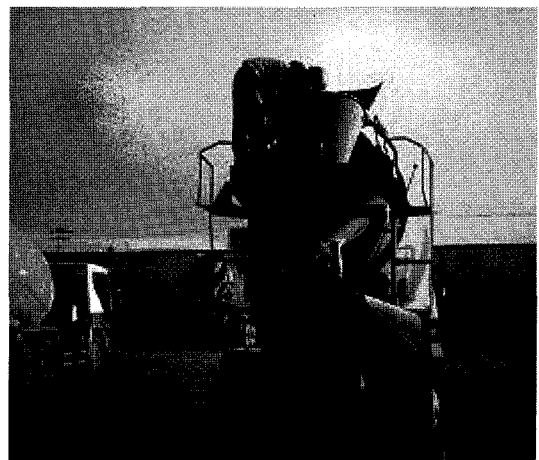
표 6 및 그림 5는 각각 대상부재에 타설한 콘크리트의 품질 특성으로 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다.

표 6. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

실험	종류	컨벤셔널 콘크리트	유동화 콘크리트
	슬럼프 (mm)		160
공기량 (%)		3.0	3.1
블리딩량 (cm ³ /cm ²)		84	36
응결시간 (hr)	초결	5.2	4.6
	중결	8.1	6.5



유동화제 계량



유동화제 혼입



유동화제후 슬럼프 측정



버블시트 설치

사진 2. 실험모습

먼저, 대상부재에 적용한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 약간의 차이는 있으나, 모두 목표 슬럼프 및 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다.

블리딩량은 건조수축 저감형 유동화제를 이용하여 유동화공법을 도입한 경우 컨벤셔널 콘크리트보다 월등히 감소하여, 본 공법을 사용할 경우 블리딩 저감에 탁월한 효과가 있는 것으로 분석되었다.

응결시간은 오히려 컨벤셔널 콘크리트보다 촉진되어 일반적으로 유동화공법을 적용함에 따른 응결 지연 문제는 없는 것으로 분석되었다.

4.2 경화 콘크리트의 특성

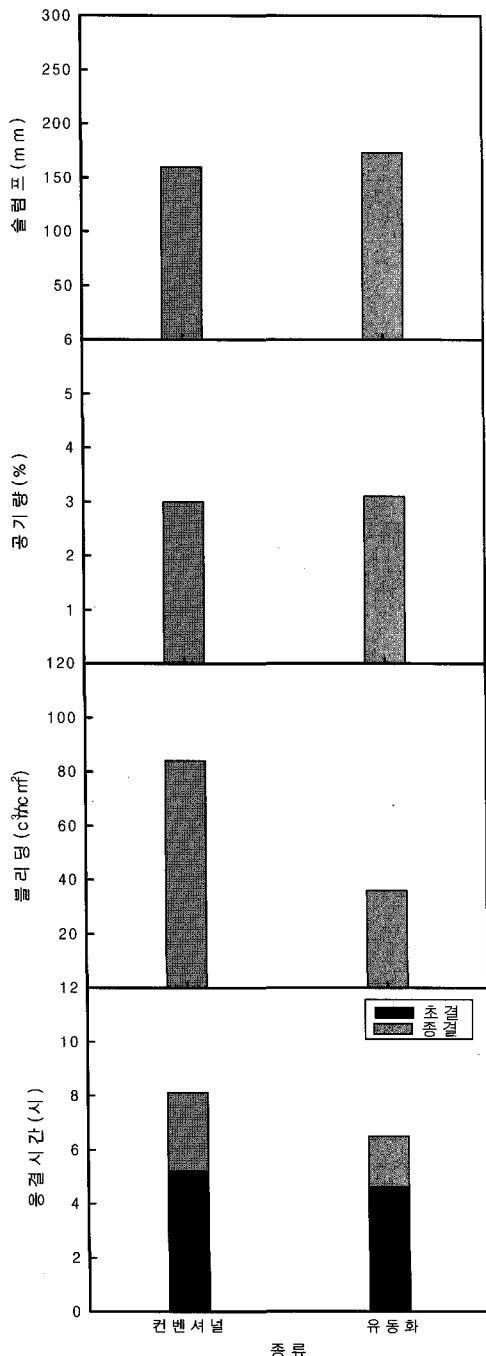


그림 5. 콘크리트 종류에 따른 슬럼프, 공기량, 블리딩, 응결시간

4.2.1 균열부위 육안관찰

본 현장적용대상 부재별 균열양상은 사진 3 및 그림 6과 같다. 이때, 컨벤셔널 콘크리트의 경우는 사진 3과 같이 1mm가 넘는 넓은 폭의 균열을 포함하는 소성수축균열 및 건조수축균열 피해가 부재면 전체에 걸쳐 발생하였다. 이에 반해 유동화 공법을 사용한 경우 허용균열폭보다 작은 0.2mm이하의 미세한 균열이 부분적으로 나타난 반면, 유동화 공법과 2중 버블시트 양생을 함께 사용한 조건의 경우는 사진 3과 같이 거의 균열이 발생하지 않았다. 이는 2중 버블시트가 콘크리트 양생초기에 단열양생효과 및 급격한 수분증발을 억제하면서 소성수축 균열을 최소화하고 유동화 공법을 적용함으로써 단위수량이 작아짐에 따라 건조수축 균열이 저감된 것으로 분석된다.

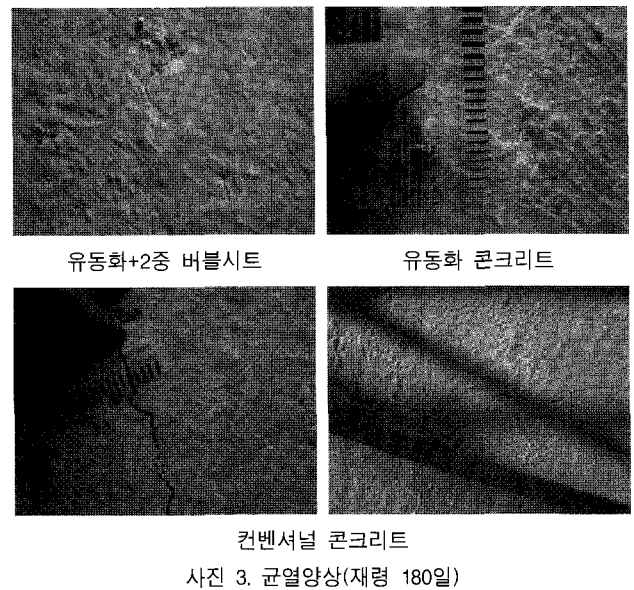


사진 3. 균열양상(재령 180일)

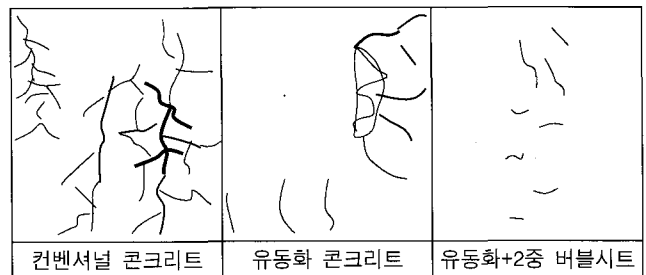


그림 6. 콘크리트 종류별 균열도

표 7. 콘크리트 종류별 균열면적 및 상대균열면적율

구분	컨벤셔널 콘크리트	유동화 콘크리트	유동화+2중 버블시트
균열면적(mm²)	23,400	6,670	2,306
상대균열면적율(%)	100	28.0	9.8

표 7은 컨벤셔널 콘크리트의 균열면적을 100%로 했을 때의 균열면적을 상호 비교하여 나타낸 것이다.

균열 면적은 균열 길이에 균열폭을 곱하여 구하였는데, 컨벤셔널 콘크리트를 100%로 하였을 때, 유동화 콘크리트가 28%로 건조수축 저감형 유동화제만을 사용하더라도 건조수축 균열 저감 효과가 탁월한 것을 알 수 있었지만, 여기에 2중 버블시

트를 이용하여 양생을 할 경우에는 9.8%로 소성수축 및 건조수축 균열을 대부분 제어하여 균열이 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있었다.

4.2.2 압축강도

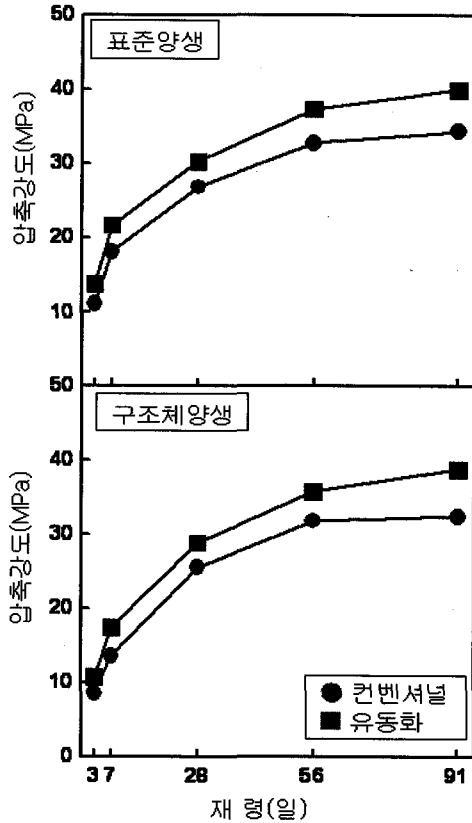


그림 7. 재령경과에 따른 압축강도

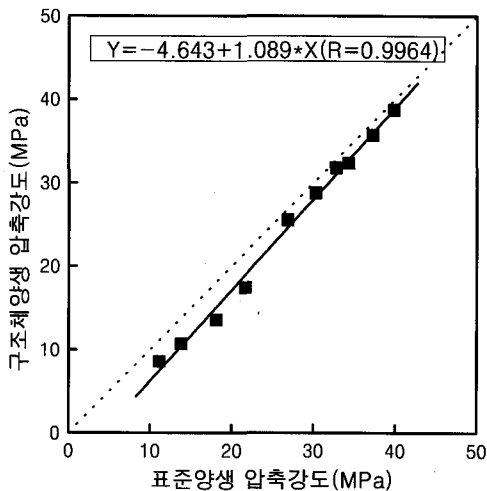


그림 8. 구조체 양생과 표준양생간의 압축강도 비교

그림 7은 양생조건 및 부재별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 8, 9는 각각 구조체양생과 표준양생, 유동화와 컨벤셔널간의 압축강도를 비교한 그래프를 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하였고, 재

령 28일의 압축강도는 콘크리트 종류에 따라 차이는 있지만, 요구하는 호칭강도를 모두 만족하였다. 전반 재령에서 양생조건에 따라서는 표준양생 공시체가 구조체 관리용 공시체에 비하여 약 3~33%정도 크게 발휘되었는데, 이는 콘크리트 타설 당시 외기온이 낮은 관계로(시험기간 동안 일 평균기온 10℃이하) 구조체 관리용 공시체의 압축강도가 작게 발휘된 것으로 사료된다. 유동화 공법적용여부로서 부재별 압축강도는 건조수축 저감형 유동화제를 사용한 경우 컨벤셔널 콘크리트에 비하여 약 2~6MPa 정도 높은 강도로 나타나 개발된 건조수축 저감형 유동화제를 사용함에 따라 압축강도가 10~22%전후까지 향상됨을 확인할 수 있었다.

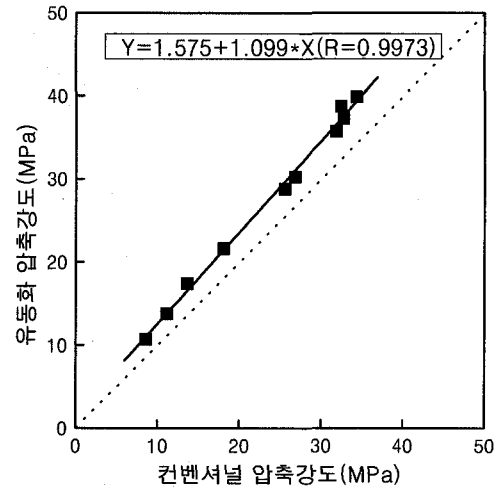


그림 9. 유동화와 컨벤셔널간의 압축강도 비교

5. 결론

본 연구는 전남 영암군 대불자유무역지역 시설공사 현장의 슬래브 콘크리트에 건조수축 저감형 유동화제에 의한 유동화 공법 및 2중 버블시트에 의한 양생공법을 동시에 적용함에 있어 굳지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 특성 및 균열양상을 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 슬럼프 및 공기량은 모두 목표 슬럼프 및 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 단, 블리딩량은 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우 컨벤셔널 콘크리트와 비교하여 월등히 감소하는 것으로 나타났고, 응결시간은 촉진되어 유동화제를 사용함에 따른 문제점은 없는 것으로 밝혀졌다.
- 2) 슬래브 구조체의 균열로서, 컨벤셔널 콘크리트의 경우는 1mm가 넘는 넓은 폭의 소성수축균열 및 건조수축균열 피해가 부재면 전체에 고루 발생하였으나, 유동화 공법을 사용한 경우는 미세한 균열이 부분적으로 나타났으며, 유동화 공법과 2중 버블시트 양생을 함께 적용한 조건인 경우에는 거의 균열이 발생하지 않았다. 균열의 면적율은 컨벤셔널 콘크리트를 100%로 하였을 때, 건조수축저감형 유동

화제의 의한 유동화 콘크리트공법은 28%로 나타났고, 2중 버블시트까지를 이용하여 양생 할 경우에는 9.8%로 소성 수축 및 건조수축 균열이 크게 제어 됨을 알 수 있었다.

3) 재령 28일의 압축강도는 요구하는 호칭강도를 모두 만족하였고, 전반 재령에서 표준양생 공시체가 구조체 관리용 공시체에 비하여 약 3~33%정도 크게 발휘되었으며, 부재별로는 건조수축 저감형 유동화제를 사용할 경우 컨벤셔널 콘크리트에 비하여 약 10~22%전후 높은 강도를 나타내었다.

이상을 종합하여 볼때 콘크리트 타설시 건조수축 저감형 유동화제를 사용한 유동화 공법과 2중 버블시트 양생공법을 동시에 사용할 경우에는 유동화 공법에 의하여 건조수축 균열을 저감하고, 2중 버블시트에 의하여 소성수축 균열을 제어하며, 콘크리트 품질을 양호하게 확보할 수 있어 매우 효과적인 구조체 품질관리 방법인 것으로 분석되었다.

16. 김광서, 박도겸, 구기대 ; 잔골재가 건조수축에 미치는 영향에 관한 비교연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제 19권, 제 2호, 1999.10
17. 김진근, 진운용, 이석홍 ; 크리프와 건조수축을 고려한 콘크리트 합성부재의 장기거동에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 11권, 제 10호, 1995.10
18. 조영국, 소양섭 ; 폴리머 시멘트모르타의 수분확산과 건조수축에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 12권, 제 11호, 1996.11
19. 日本建築學會 材料施工委員會 第一分科會·流動化コンクリート研究小委會 ; 流動化コンクリートの技術の現況, 1979.
20. 日本建築學會 ; 流動化コンクリート施工指針・同解説, 1983
21. 社團法人 大韓土木學會 ; 流動化 콘크리트 施工指針(安)・同解説, 1991
22. 日本建築學會 ; 콘크리트의設計指針・同解説, 1994
23. 建材試驗センター ; “콘크리트용化學混和劑의品質(高性能 A E 減水劑を含む)”, 第5回生コン技術大會研究發表論文集, pp. 125~130
24. セメント協會, "Cement&concrete", pp.50-51
25. 牧隆輝, 下山善秀, 榮川裕之, “收縮低減劑を用いたコンクリートのひび割れ調査”, 日本建築學會大會學術講概集, 1998, pp.1085-1086.

참 고 문 헌

1. 신재경, 오치현, 최진만, 이성연, 한민철, 한천구 ; 건조수축 저감형 유동화제의 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 17권 제 1호, 2005. 5
2. 김종백, 임춘근, 한민철, 김성수, 한천구 ; 한중시공시 단열양생방법 변화에 따른 테크플레이트 슬래브 콘크리트의 온도이력 특성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, pp.325~328.10, 2005. 10
3. 김종백, 임춘근, 한민철, 김성수, 한천구 ; 한중콘크리트의 현장 표면단열 양생공법 시공사례 연구, 한국건축시공학회 추계학술 발표대회논문집, pp.25~28, 2005. 10
4. 한천구 ; 최신 유동화 콘크리트의 개요 및 전망, 콘크리트학회지, Vol.13, NO.3, 2001.5 pp.26~31
5. 한천구, 한민철 ; 콘크리트의 배합요인이 건조수축에 미치는 영향, 대한건축학회 구조계논문집, 제19권 2호, 2003. 2
6. 오광진 ; 콘크리트 구조물의 균열평가 및 보수보강, 한국시설안전 기술공단 시설 물 보수보강 및 진단기술, 2002. 9
7. 한천구 ; 레미콘의 가수, 레미콘·아스콘·골재, 건설미디어사, 2003. 7
8. 한천구 ; 레미콘의 가수방지대책, 레미콘·아스콘·골재, 건설미디어사, 2003. 8
9. 한천구, 반효용, 오선교 ; 분리저감형 유동화 콘크리트 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 14권 제 12호, 1998
10. 송승현 ; 콘크리트의 乾燥收縮 特性分析 및 收縮低減 混和材의 開發, 청주대학교 대학원 박사학위 논문, 2006
11. 韓國콘크리트學會 ; 콘크리트 혼합재료, 기문당, pp.49~75, 1997
12. 韓國콘크리트學會 ; 고성능유동화제를 이용한 고강도 콘크리트의 제조와 특성 및 활용, 1993
13. 한천구, 강의영, 오선교, 반효용 ; 중점제를 이용한 분리저감형 유동화 콘크리트의 개발 및 그 특성분석, 한국콘크리트학회논문집, 제 11권, 제 4호, 1999.
14. 유호범, 강의영, 오선교, 한천구, 반효용 ; 분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 모의부재 충전 특성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제 19권, 제 1호, 1999.
15. 한천구, 레미콘 품질관리, 기문당, 2002