

버블시트 피복양생법에 의한 소성 및 건조수축 균열저감

Plastic and Drying Shrinkage Cracking Reduction by the Bubble Sheet Curing

이 정 교

한 천 구*

Lee, Joung-Gyo

Han, Cheon-Goo*

Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 360-764, Korea

Abstract

In this research, the performance of surface covering technique using a white-colored bubble sheet on reducing the cracking due to the plastic, and drying shrinkages for high rise building construction were evaluated by comparing the exposed surface without any surface treatment. From the results of the experiment conducted during fall season, desired results of decreased numbers, length, maximum width, and area of cracking were obtained without a significant difference on heat of hydration and cumulative temperature. Therefore, it is considered that the surface covering technique using bubble sheet is an appropriate method for preventing plastic and drying shrinkage cracking at fall season concrete construction.

Keywords : surface-covered curing materials, single-layered white bubble sheet, surface exposure, plastic and drying shrinkage crack

1. 서 론

콘크리트 시공에서 양생이란 거푸집내에 콘크리트를 부어넣고 다짐한 후 일정기간 동안 온·습도, 하중, 충격 등의 유해한 영향을 받지 않도록 보호관리 하는 것을 말한다. 즉 양생은 만족할 만한 수화작용이 원활히 진행되도록 물을 충분히 공급하고, 온도유지 및 진동·충격을 방지해야 하는데[1], 구체적인 방법으로는 살수양생, 피복양생 및 형틀채존치 등의 다양한 방법[2]이 존재한다.

그러나, 우리나라 건축공사 현장에서의 양생과 관련하여

종전의 경우는 가마니나 부직포 등을 덮고 물을 주던적이 있고, 타설 후 익일 살수양생을 실시한 적도 있었다. 하지만 최근의 경우 특히 고층 건축에서는 공기에 따르는 시공속도 문제 및 물의 공급이 원활치 못함 등의 이유로 폴리에틸렌(PE) 필름을 벽철근 때문에 떠진 상태로 덮어주는 정도이거나, 혹은 피치 못할 경우 양생이 이루어지지 않고 있는 경우도 발생한다.

그러므로 본 연구에서는 실제 시공중인 고층 아파트를 대상으로 봄, 여름 및 가을용으로 개발된 1중 백색 버블시트(이하 버블시트라 칭함)[3,4]를 다우엘바 철근(벽철근)을 고려, 방 크기만큼 사전에 절단 및 열용접하여 제작된 것으로 타설된 콘크리트의 표면을 밀실하게 덮어주는 피복양생 공법에 대하여, 표면을 노출한 채로 양생없이 유지하는 방법(이하 표면노출이라 칭함)과 비교하므로써 소성 및 건조수축균열의 저감정도를 분석하여 새로운 피복양생법을 제안하고자 한다.

Received : February 11, 2016

Revision received : March 11, 2016

Accepted : June 3, 2016

* Corresponding author : Han, Cheon-Goo

[Tel: 82-43-229-8480, E-mail: cghan@cju.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2. 현장개요

본 연구의 대상인 구조물은 세종특별자치시에 위치한 S 건설의 벽식구조의 고층 Apt.로 공사개요는 Table 1과 같고, 시공중인 모습은 Figure 1과 같다.

Table 1. Field conditions

Project	OO apartment construction in multi-functional administrative city
Location	Sejong special city
Period	2014.09 ~ 2017.04
Area	220,870 m ²
Construction area	15,129 m ²
Structure	Reinforced concrete wall structure 2 basement floors, and 10 - 29 ground floor
Organization	19 buildings of apartment 1267 housings, and amenities



Figure 1. Construction site view

3. 현장적용 실험계획 및 방법

3.1 현장적용 실험계획

본 연구의 현장적용 실험계획은 Table 2와 같다.

Table 2. Experimental plan for field

Factor	Test element	
Ready mixed concrete	1	25-21-150
Applied spot (floor)	3	24, 26, 28 floor (slab)
Field application method	Surface curing	2 · Single-layered white bubble sheet · Surface exposure
Tests	Fresh state	3 · Slump · Air content · Chloride content
	Hardened state	3 · Temperature history · Compressive strength-wet cured (7, and 28 D) · Cracking investigation (2, 3, and 28 D)

즉, 현장적용 실험에 사용한 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘)는 호칭강도 21MPa, 목표슬럼프 150mm, 목표 공기량 4.5%로 설계되어 있다.

표면양생방법으로는 24, 26, 28의 3개층에 버블시트와 표면노출의 2수준으로 현장적용을 실험계획 하였다. 실험 사항으로 굳지 않는 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 염화물량 측정을 계획하였고, 경화콘크리트에서는 수화열 온도 이력, 압축강도 및 균열조사를 계획하였다.

3.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료로서 먼저 콘크리트는 세종시에 위치한 KS레미콘을 사용하였는데, 레미콘용 사용재료 중 시멘트는 국내산 KS L 5201의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 청주시 서원구 남이면의 천연 잔골재와 25mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 국내산 AE 감수제 표준형을 사용하였다.

표면 양생재로 버블시트는 국내 G사에서 생산 시판중인 1중 백색 버블시트[4]인데, 여름철 일사열 반사를 목적으로 표면 폴리에틸렌 필름은 백색으로, 공기층 포함 두께는 4mm로 열대류 및 열전도를 방지하도록 제조되어 있다. 버블시트의 물리적 성질은 Table 3, 그 모습은 Figure 2와 같다.

Table 3. Physical properties of bubble sheet

Material	Thickness (mm)	Bubble size (mm)	Thermal conductivity (W/m · k)
Third-layered polyethylene film	4	12	0.05



Figure 2. Bubble sheet of ready mixed concrete curing

3.3 적용기간 및 방법

본 연구는 가을철 환경으로써 2015년 10월에서 11월까지

지 실시하였다. 적용위치는 Figure 3과 같은 평면의 24, 26, 28층의 바닥으로 왼쪽 세대에는 버블시트를 시공하고, 오른쪽 세대에는 표면노출 상태로 구분하였다. 버블시트의 제작은 수직철근의 간섭을 피하고, 시공성을 위해 Figure 3의 평면도와 같이 8개의 조각으로 분리 제작 하였으며, 계단실 및 복도 등의 공용부위는 실험에서 제외하였다.

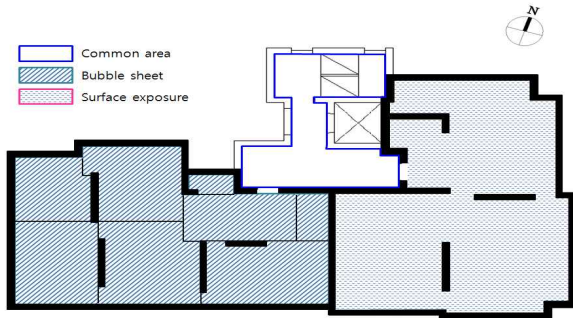


Figure 3. Bubble sheet installation plan

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 염화물량은 이온전극법, 경화콘크리트의 압축강도는 $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$ 원주공시체를 KS F 2405에 의거하여 실시하였다. 반입된 콘크리트 온도는 24층 바닥의 경우 18°C 전후, 26층 바닥은 22°C 전후, 28층 바닥은 15°C 전후로 측정되었다.

양생조건은 타설 종료 후 표면노출은 노출상태로, 1층 백색 버블시트는 타설 종료 후 4시간 전후에 포설하였고 48시간 동안 양생한 후 노출상태로 유지하였다. 콘크리트 내부 온도이력은 Figure 4, 5 및 6, 7과 같이 시험체의 표면, 중심부, 하부에 온도측정용(T-type) 열전대를 매립한 후 자동온도기록계로 측정하였다. Figure 8, 9는 콘크리트 타설 모습이며, Figure 10, 11은 백색 버블시트 피복 및 표면 노출 면처리 모습을 보여주는 것이고, Figure 12, 13은 버블시트 양생재 시공 및 표면노출 면처리를 하고 난 후의 모습이다.

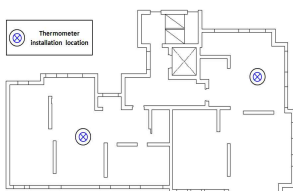


Figure 4. Thermometer installation location

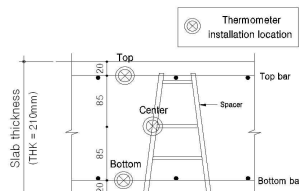


Figure 5. Thermometer installed cross-section



Figure 6. Installation of thermo couple for temperature measurement



Figure 7. Automated temperature recorder



Figure 8. Concrete placement (in progress)



Figure 9. Concrete placement (completed)



Figure 10. Installation of single-layered white bubble sheet



Figure 11. Surface exposure work



Figure 12. Curing with single-layered white bubble sheet



Figure 13. Surface exposure

4. 실험결과 및 분석

4.1 기상조건

타설 당일 세종지역의 기상청 날씨는 Table 4와 같이 대체적으로 맑거나 구름 낀 상태로 최저기온은 8°C 전후, 최고기온은 19°C 전후 이었으며, 평균풍속은 2.3m/s 를 나타내었다. 풍속은 타워크레인에 설치되어 있는 무선풍속계를 사용하여 측정하였다. 타설일 다음날부터 3일간 중에 26, 28층의 경우 비가 오는 날도 존재하였다.

Table 4. Weather record in sejong area

Category	Placed date	weather	lowest	highest	Wind
			temp.	temp.	speed Av.
24 F slab	2015.10.19	Fine	12	24	1.9
	2015.10.20	Fine	12	23	1.6
	2015.10.21	Cloud	11	23	2.9
	2015.10.22	Cloud	13	23	3.0
26 F slab	2015.11.04	Cloud	5	19	2.9
	2015.11.05	Cloud	7	19	2.5
	2015.11.06	Rain	8	20	3.7
	2015.11.07	Rain	11	14	2.9
28 F slab	2015.11.21	Cloud	7	12	2.2
	2015.11.22	Rain	6	16	2.4
	2015.11.23	Rain	9	13	2.3
	2015.11.24	Rain	5	10	2.3

4.2 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 강도특성

굳지 않은 콘크리트의 특성인 슬럼프, 공기량, 염화물량과 경화콘크리트의 7일, 28일 압축강도는 Table 5와 같은데, 모두 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다.

Table 5. Properties of fresh state concrete and compressive strength

Spot	slump(mm)	Air content(%)	Chloride content (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	
				7 D	28 D
Allowance	150±25	4.5±1.5	less than 0.30	higher than 13.6	higher than 21
24 F slab	160	4.5	0.024	15.0	25.3
26 F slab	165	4.7	0.029	15.1	25.6
28 F slab	160	4.6	0.027	14.8	25.4

4.3 콘크리트의 수화열 온도 특성

콘크리트의 수화열은 양생정도 및 균열 발생과 밀접한 관계가 있다. 본 실험적용 슬래브는 두께 210mm로 상부, 중앙부, 하부의 온도를 측정하였는데, 그 결과는 Figure 14~19과 같이 나타났다.

먼저 24층 바닥의 온도 이력변화(Figure. 14, 17)의 경우는 버블시트로 피복 양생한 기간 중에는 미소하게 표면 노출보다 버블시트 양생 구간에서 약간 높게 나타났으나, 그 이후는 모두 유사하게 나타났으며, 상부와 하부의 온도 차이도 두 방법 모두 작게 나타났다.

26층 바닥의 온도 이력변화(Figure 15, 18)의 경우는 타설 후 48시간 동안 24층 바닥의 온도 이력변화 특징과 유사하게 나타났지만, 48시간 이후에는 두 방법 모두 상부와 하부의 온도 차이가 더 작게 나타났다. 이는 비가 내린 날씨의 영향으로 표면에 수막층이 형성되어 버블시트 및 표면노출 세대 모두 비슷한 수치가 측정된 것으로 판단된다.

28층 바닥의 온도 이력변화(Figure 16, 19)의 경우도 버블시트 피복양생 기간에는 표면노출보다 버블시트에서 약간 높게 나타났으나 그 이후에는 타설 후 비가 내린 영향으로 인해 상부와 하부의 온도 차이가 작고, 버블시트와 표면노출 세대 간에는 비슷한 온도로 나타났다.

콘크리트의 양생기간동안 온도와 시간의 누적값인 적산 온도[5]를 구하여 Figure 20~22과 같이 비교하였다.

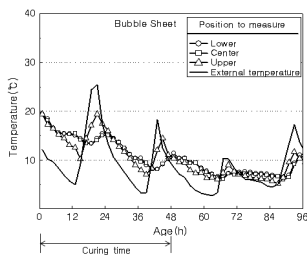


Figure 14. Temperature history at 24 floor slab (bubble sheet)

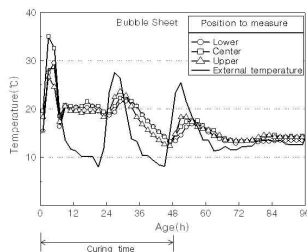


Figure 15. Temperature history at 26 floor slab (bubble sheet)

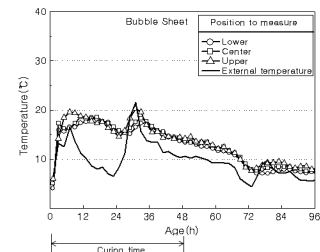


Figure 16. Temperature history at 28 floor slab (bubble sheet)

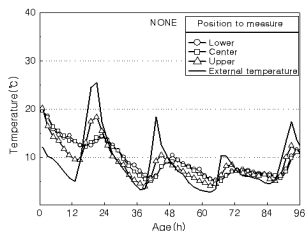


Figure 17. Temperature history at 24 floor slab (surface exposure)

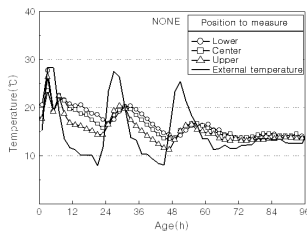


Figure 18. Temperature history at 26 floor slab (surface exposure)

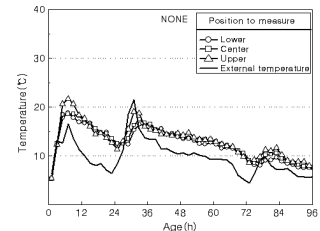


Figure 19. Temperature history at 28 floor slab (surface exposure)

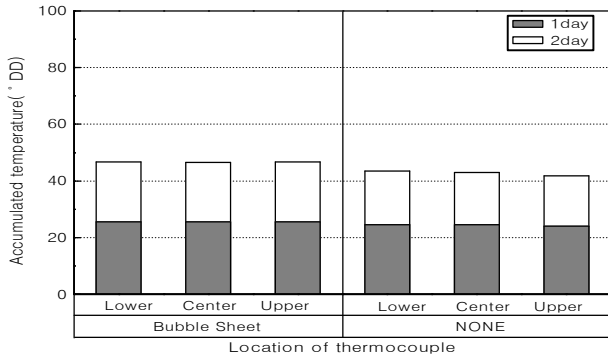


Figure 20. Accumulative temperature at 24 floor slab depending on the locations of thermocouple

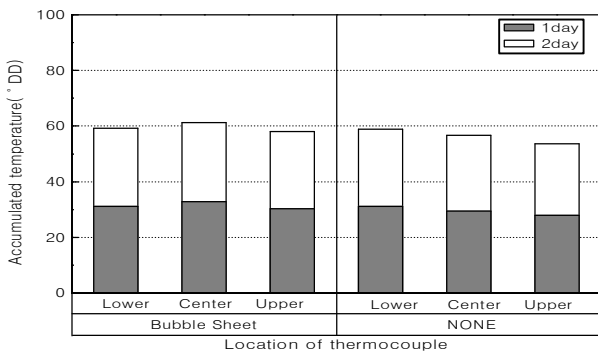


Figure 21. Accumulative temperature at 26 floor slab depending on the locations of thermocouple

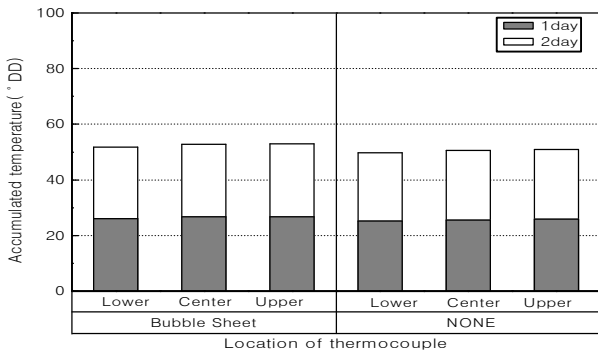


Figure 22. Accumulative temperature at 28 floor slab depending on the locations of thermocouple

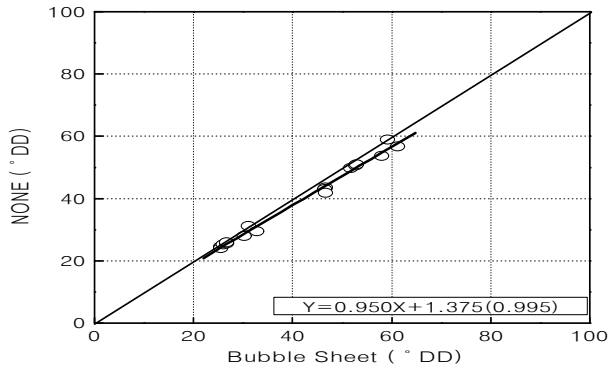


Figure 23. Scattered diagram of accumulated temperature

먼저, 24층의 경우 전체적으로 모두 버블시트 구간에서 4° DD 전후로 높게 나타났으며, 26층의 경우는 하부의 온도차는 거의 없었고, 상부 및 중앙부 적산온도가 24층과 같이 높게 나타났다. 28층의 경우는 타설 익일 비의 영향으로 외기온도가 낮음으로 인해 버블시트 구간에서 2° DD 전후로 높게 나타났다.

Figure 23은 버블시트 구간과 표면노출 구간의 1일~2일간의 적산온도를 상호 비교하여 산점도로 나타낸 것이다. 상호간에는 6%미만으로 버블시트구간이 높게 나타났는데, 이는 버블시트의 공기층 영향으로 열대류 및 열전도 방지 효과이며, 버블시트 포설과 표면노출간의 온도차이를 보아 버블시트의 단열성능이 있는 것으로 종합고찰 된다.

4.4 균열 양상

버블시트 및 표면노출 세대의 균열 양상을 조사한 결과는 Table 6 및 Figure 24~26와 같다.

먼저 24층 바닥 균열 양상의 경우 균열발생갯수는 버블시트로 시공한 세대 6개, 표면노출 세대 18개 이었고, 균열발생 길이로는 버블시트 1.21m에 비해, 표면노출 9.9m로 표면노출이 버블시트 시공세대 보다 818% 더 길게 나타났다. 최대 균열폭은 버블시트 시공세대 0.25mm, 표면노출 세대 0.7mm이며, 균열면적은 버블시트 165mm², 표면노출 2,248mm²로 표면노출이 버블시트 세대보다 1,362% 크게 나타났다.

26층 바닥 균열 양상의 경우 균열발생갯수는 버블시트로 시공한 세대 3개, 표면노출 세대 11개 이었고, 균열발생 길이로는 버블시트 0.43m에 비해, 표면노출 3.67m로 버블시트 시공세대 대비 표면노출은 853% 더 길게 나타났다. 최대 균열폭은 버블시트 시공세대 0.2mm, 표면노출 세대 0.4mm이며, 균열면적은 버블시트 58mm², 표면노출 687mm²로 버블시트 세대보다 표면노출이 1,118% 크게 나타났다.

28층 바닥 균열 양상의 경우 균열발생갯수는 버블시트로 시공한 세대 4개, 표면노출 세대 10개 이었고, 균열발생 길이로는 버블시트 0.74m에 비해, 표면노출 3.78m로 버블시트 시공세대 대비 표면노출이 510% 더 길게 나타났다. 최대 균열폭은 버블시트 시공세대 0.2mm, 표면노출 세대 0.45mm이며, 균열면적은 버블시트 103mm², 표면노출 758mm²로 표면노출이 버블시트 세대보다 735% 크게 나타났다.

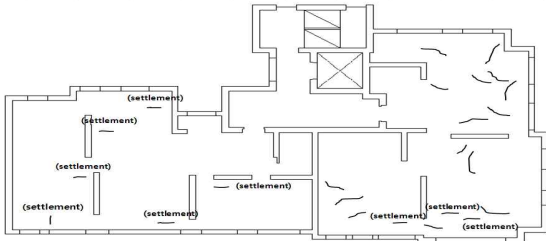


Figure 24. Cracking map at 24 floor

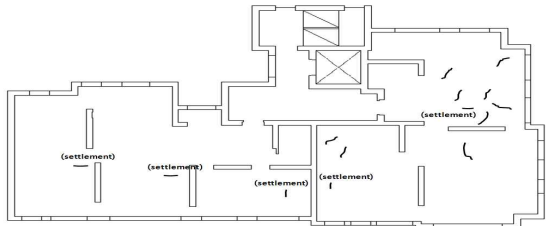


Figure 25. Cracking map at 26 floor

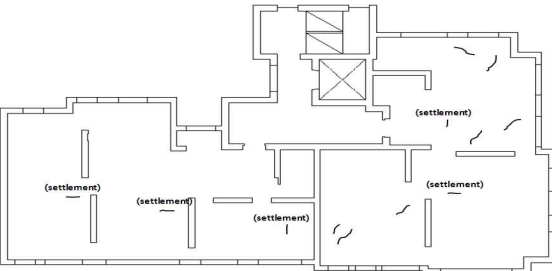


Figure 26. Cracking map at 28 floor

재령경과별 특성으로는 타설 종료 후 2일차부터 28일차를 조사하였다. 조사결과 24층 바닥 버블시트 시공세대의 균열길이 증가는 없었고, 최대 균열폭이 0.25mm인데 비하여, 표면노출 세대의 균열길이 증가는 0.79m, 최대 균열폭은 0.7mm로 나타났다. 26층 바닥 버블시트 시공세대의 균열길이 증가는 없었고, 최대 균열폭은 0.2mm이며, 표면노출 세대의 균열길이 증가는 0.51m, 최대 균열폭은 0.4mm로 나타났다. 28층 바닥 버블시트 시공세대의 균열길이 증가는 없으며, 최대 균열폭은 0.2mm이며, 표면노출 세대의 균열길이 증가는 0.43m, 최대 균열폭은 0.45mm로 나타났다.

Figure 27~30은 전체 발생한 균열을 침하균열과 소성 및 건조수축균열로 구분하여 비교하였다. 그 결과 버블시트 세대의 균열 양상은 모두 철근 방향과 위치가 동일한 침하균열 양상을 보였으나, 표면노출세대는 전체 중 18% 정도가 침하균열 양상을 보였고 82% 정도는 소성 및 건조수축균열 양상이었다.

이상을 종합하면 버블시트의 시공세대에서는 소성 및 건조수축균열이 발생되지 않음을 확인하였는데, 이는 버블시트의 경우 불투수성 폴리에틸렌 필름으로 정확히 바닥에 밀착되어 수분증발을 완벽히 막아줌에 따라 인장강도가 증가할 동안 인장응력의 발생을 억제하여 균열지수를 낮춰줌

Table 6. Result of slab curing investigation (28 D)

Location	Surface curing method	The number of cracking (ea)			Crack length (m)		The maximum cracking width (mm)			Cracking area (mm ²)			
		Total	Settlement	Plastic and drying shrinkage	Total	Settlement	Plastic and drying shrinkage	Total	Settlement	Plastic and drying shrinkage	Total	Settlement	Plastic and drying shrinkage
24 F slab	Bubble sheet	6	6	-	1.21	1.21	-	0.25	0.25	-	165	165	-
	Surface exposure	18	3	15	9.9	0.96	8.94	0.7	0.25	0.7	2,248	167	2,081
26 F slab	Bubble sheet	3	3	-	0.43	0.43	-	0.2	0.2	-	58	58	-
	Surface exposure	11	2	9	3.67	0.36	3.31	0.4	0.3	0.4	687	71	616
28 F slab	Bubble sheet	4	4	-	0.74	0.74	-	0.2	0.2	-	103	103	-
	Surface exposure	10	2	8	3.78	0.56	3.22	0.45	0.35	0.45	758	137	621

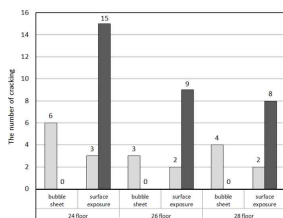


Figure 27. The number of cracking

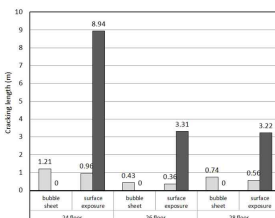


Figure 28. Cracking length

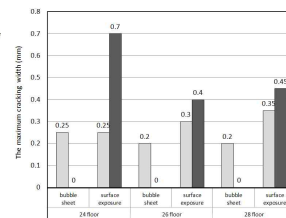


Figure 29. The maximum cracking width

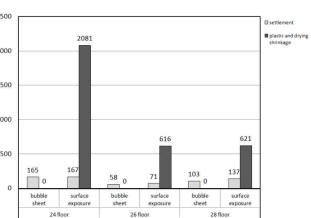


Figure 30. Cracking area

에 기인한 것[6]으로 사료된다. 따라서, 버블시트 피복양생 공법을 현장적용 시에는 소성 및 건조수축균열을 획기적으로 방지할 수 있는 것이 판명되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 가을철 환경하에서 콘크리트 표면피복 양생재로 1중 백색 버블시트를 포설하는 공법과 표면노출 상태간에 실제 아파트 슬래브에 적용한 후 품질성능을 비교하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬래브 콘크리트의 온도이력변화의 실험결과로 버블시트로 피복 양생을 실시하는 기간 동안은 버블시트의 경우가 표면노출보다 표면부, 중앙부 및 하부의 수화열이 약간 높게 나타났고, 적산온도도 버블시트 시공 세대에 106%정도 높게 나타났다.
- 2) 바닥 균열의 경우 버블시트 시공세대에서 발생한 모든 균열은 철근 배근도와 일치하는 침하균열의 양상을 보였으나, 표면노출 세대에서는 침하균열 18%, 소성 및 건조수축균열 82%로 나타났다. 무엇보다 균열의 길이 및 최대 균열폭, 균열 면적 모두 버블시트를 시공한 세대에서 현저하게 적은 값이 측정되었다.

이상을 종합하여 볼 때 가을철 콘크리트의 표면피복 양생재로 버블시트를 피복하는 것이 콘크리트의 소성 및 건조수축 균열저감에 획기적인 재료 및 양생 공법인 것으로 사료된다.

금후의 과제로서는 PE필름과의 비교 및 봄철 및 여름철 환경하에서의 적용에 대하여도 검토 할 필요가 있다.

요 약

본 연구에서는 2015년 가을철 실제 시공중인 고층 아파트를 대상으로 1중 백색 버블시트로 타설된 콘크리트의 표면을 덮어주는 버블시트 피복양생 공법과 표면을 노출한 채로 양생없이 유지하는 표면노출 방법간을 비교하여 소성 및 건조수축균열의 저감정도를 분석하였다. 실험 결과, 버블시트를 시공하였을 경우, 수화열 및 적산온도는 표면노출보다 약간 높았고, 바닥 균열의 갯수, 길이, 최대 균열폭, 균열 면적 모두 현저하게 적은 값이 측정되었다. 따라서 가을철 버블시트를 타설된 콘크리트 표면에 적용 할 경우에는 소성 및 건조수축균열을 획기적으로 방지할 수 있는 효과

적인 표면피복 양생공법인 것으로 판단되었다.

키워드 : 피복 양생재, 1중 백색 버블시트, 표면노출, 소성 및 건조수축균열

References

1. Han CG. Properties of the concrete and mixed design, 2nd ed, Seoul(Korea): Kimoonang; 2011, 98 p.
2. Korea Constitute Institution. Concrete curing, 1st ed, Seoul(Korea): Kimoonang; 2010. Chapter 02, Curing methods and materials; p. 29-38.
3. Lee JS, Kim JB, Yoo SY, Han MC, Han CG. Effect of the surface curing sheet using bubble sheet and aluminum foil on temperature profile of concrete at hot weather. Proceeding of Korea institute of building construction, 2006;26(1):337-40.
4. Lee HS. LAMILON Bubble Sheet for Concrete Curing [Internet]. Chungju(Korea): Jung Won G.L.B. Ltd; 2013 Sep[cited 2016 Feb 2]. 3p. Available from: http://www.lamilon.com/05_customer/05customer_sub03.asp?xcode=xxtb_003&xmode=read
5. Han MC, Han CG. Temperature and Concrete, 1st ed, Seoul(Korea): Kimoonang; 2002, Chapter 01, Maturity; p. 22-33.
6. Korea concrete Institute. Concrete Standard Specification, 3rd ed, Seoul(Korea): Kimoonang; 2009, 182 p.