

동절기 벽식구조 건축물 벽부분의 버블시트 포설방법 변화가 이음부 노출철근의 온도에 미치는 영향

Influence of Bubble Sheet Applying Methods on Temperature of Exposed Joint Rebar at Wall Surface of Load-Bearing Wall Structure Building During Winter

한 천 구 이 제 현* 김 민 상

Han, Cheon-Goo Lee, Jea-Hyeon* Kim, Min-Sang

Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, 298 Daesung-Ro, Cheongju-City, 28503 Korea

Abstract

In this research, the surface covered curing method using the double-layered bubble sheet was evaluated. This double-layered bubble sheet has outstanding insulating performance with its low heat conductivity and high economic feasibility with its high durability. However, in the case of wall-typed building construction, the area of exposed rebar is curious on curing performance with the double-layered bubble sheet in spite of the double-layered bubble sheet showed favorable performance for slab. Therefore, in this research, regarding the actually constructed wall-typed apartment building, the most efficient curing method was suggested based on the evaluation of curing performance depending on temperature distribution depending on various location of covered or exposed rebar. As a result, the D method was determined as the most efficient curing method without any concern of early-age frost damage. However, by considering easiness of construction, the B method of covering the pieced double-layered bubble sheet on gap between rebars can be another option of desired result.

Keywords : 2 layer bubble sheet, exposed reinforcing bar, temperature history, cold weather concrete

1. 서 론

현대 건설 산업에서 건축물이 고층화·대형화됨에 따라 공기 준수가 중요시 되므로 서 한중 콘크리트 시공은 필수적인 것으로 받아들여지고 있다. 따라서 최근에는 이에 대한 기술도 꾸준히 발전하고 있는 상황이다.

콘크리트 표준시방서에 따르면 한중콘크리트는 ‘콘크리트를 부어넣은 후의 양생기간에 콘크리트가 동결할 염려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트’라고 정의되어 있다. 이러

한 한중 콘크리트를 시공해야하는 기간에는 적절한 양생을 실시하지 않으면 초기동해 피해가 발생하고, 응결 및 경화 지연에 따른 강도발현 저하 등의 문제점으로 콘크리트의 품질을 저하시키게 된다[1].

초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트를 일정 적산온도 이상 혹은 일정 압축강도 이상 도달하게 하는 등의 방법들이 제시되고 있다[2]. 이에 따라 최근 건설현장에서는 가설재를 이용하여 구조체를 양생막으로 둘러싸고 가열설비를 이용해 급열하는 가열보온양생이나, 동결 온도를 낮추고 강도 발현을 촉진하는 내한제를 사용하는 방법[3] 등이 활용되고 있다. 그러나 이러한 방법들 중 가열보온양생의 경우는 천막지 등 공간구성재의 낮은 단열성 등으로 열손실이 커 비효율적이고, 내한제의 경우는 비싼 가격으로 인해 채택을 기피하고 있는 실정이다.

이에, 본 연구에서는 겨울철 낮은 열전도율로 우수한 단열

Received : December 19, 2016

Revision received : December 30, 2016

Accepted : January 2, 2017

* Corresponding author : Lee, Jea-Hyeon

[Tel: 82-43-229-8480, E-mail: ljh63811@naver.com]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

성을 갖는 재료로서, 콘크리트 표면을 피복하여 열효율을 높이고, 여러번의 전용성으로 경제성 또한 뛰어난 2중 버블 시트에 의한 표면피복 양생공법을 선정하여 이를 적극 활용토록 보급하고자한다.

하지만, 본 방법은 Figure 1과 같은 벽식구조 건축물 시공에 있어 버블시트가 포설되는 슬래브 부분은 초기동해를 방지할 수 있지만, 벽부분의 노출 철근 부분은 버블시트의 포설이 까다롭기 때문에 이 부분에 대한 양생방법 변화는 초기동해 피해 여부와 관련하여 의구심이 제기되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 실제 시공중인 벽식구조 건축물 현장의 Figure 1과 같은 벽체 부분을 동절기 저온 조건하에서 시공하는 것으로 모사하여 각종 버블시트 포설방법 변화에 따른 매립 및 노출철근 부분의 위치별 온도 분포 특성을 분석함으로써 벽 노출철근 부분의 효율적인 단열보온 양생방법을 제안하고자 한다.



Figure 1. Picture of curing on the wall structure slab

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저, 사용 콘크리트의 배합사항으로는 물시멘트비(W/C) 50%, 목표 슬럼프 150 ± 25mm, 목표공기량 4.5 ± 1.5%로 일반적인 벽식구조 Apt에서 사용하는 품질과 유사하게 배합설계 하였다.

양생요인의 경우 양생재료로는 2중 버블시트를 사용하였고, 양생방법은 Figure 2, 3과 같이 4종류의 피복양생을 계획하였다. 또한, 슬라브의 두께는 실제 아파트 구조체를 고려하여 210mm로 하였다. 양생온도는 우리나라의 겨울철 기상조건을 고려하여 2015년 1월의 서울지역 온도분포를

참고하여 Figure 5와 같이 -10℃ ~ 5℃의 온도조건으로 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 3, 7, 28일 압축강도 및 Figure 4와 같은 위치에서 철근과 콘크리트의 온도이력을 측정하는 것으로 계획하였다. 즉, Figure 4와 같이 6cm 간격으로 철근에는 ①~⑦번 열전대를 철근에 드릴로 중앙까지 구멍을 내어 설치하였고, 콘크리트에는 ⑧~⑩번 열전대를 상부, 중앙부 및 하부로 나누어 설치하였다.

Table 1. Experimental plan

Items		Variables
Concrete mixtures	W/C (%)	50
	Target slump (mm)	150 ± 25
	Target air content (%)	4.5 ± 1.5
Curing factors	Surface curing	2 Layer bubble sheet
	Curing method	Refer to the figure 2, 3
	Curing temperature	5℃ ~ -10℃ (Figure 5)
	Fresh concrete	Slump Air content
Test	Hardened concrete	Compressive strength (3, 7, 28 days)
	Temperature history	Reinforcing bar (Figure 4) Concrete(Figure 4)

Table 2. Mixing proportions

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C	AE/C	Unit weight (kg/m ³)		
					C	S	G
50	180	47	0.65	0.012	364	797	909

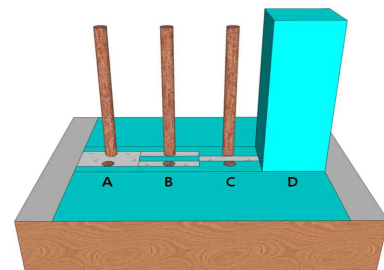


Figure 2. Curing method (perspective drawing)

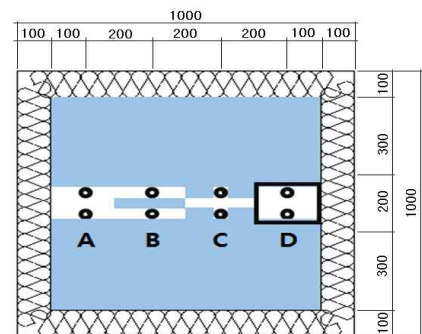


Figure 3. Curing method (floor plan)

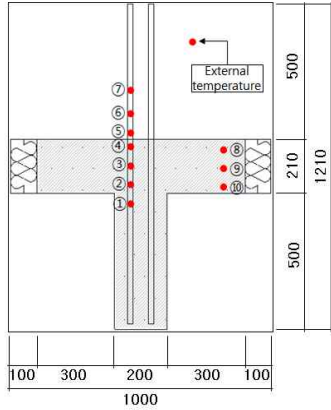


Figure 4. Thermocouple installation location (cross-section)

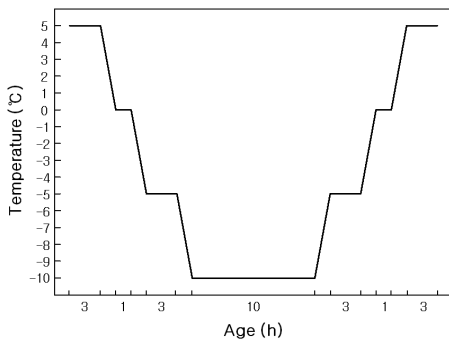


Figure 5. Curing temperature depending on time

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서, 먼저 시멘트는 국내 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재는 충칭권 석산 굵은 골재 및 잔골재를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 3, 4와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (min.)		Compressive Strength (MPa)		
		Initial	Final	3 D	7 D	28 D
3.15	3 390	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical properties of aggregate

Types	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Distribution of grain shape (%)	Fineness modulus
Fine aggregate	2.62	1.31	54.8	2.75
Coarse aggregate	2.63	0.82	57.3	6.20

표면 양생재로 사용한 버블시트는 Figure 6과 Han and Han[2]와 같이 국내 G사에서 생산 시판중인 2중 버블시트

를 사용하였다. 버블시트의 물리적 성질은 Table 5와 같고, 그 모습은 Figure 7과 같다[4,5].

Table 5. Physical properties of 2 layer bubble sheet

Use	Thickness (mm)	Bubble size (mm)	Heat conductivity (W/m·K)
Surface curing material	3	7	0.03

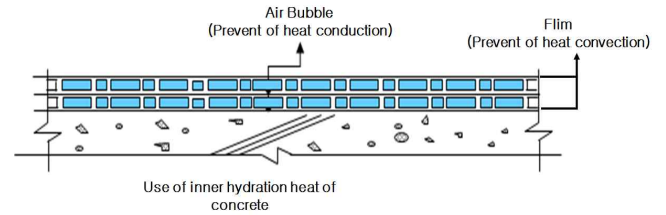


Figure 6. Cross section of 2 layer bubble sheet



Figure 7. Picture of double-layered bubble sheets

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 실험실에서 콘크리트를 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2409의 규격에 의거하여 실시하였고, 경화콘크리트에서 압축강도는 Ø100×200mm 원주형 공시체를 제작, 표면양생한 후 KS F 2405의 규격에 의거하여 압축강도를 구하였다.

거푸집은 각목과 방수합판을 사용하여 제작하였고, 3m×3m×2.5m 크기의 냉동고에 시험체를 넣고 동절기 온도조건을 모사하는 것으로 하였다. 이때 철근과 콘크리트의 온도이력은 T-Type 열전대와 Data Logger를 사용하여 측정 및 기록하였다[6].

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Table 6은 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량과 경

화 콘크리트의 7, 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 모든 항목에서 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다.

Table 6. Properties of fresh concrete and compressive strength

Separation	Slump (mm)	Air content (%)	Compressive strength (MPa)	
			7 days	28 days
Allowance	150±25	4.5±1.5	-	higher than 24
Measured	162	1.43	16.9	27.8

3.2 콘크리트의 온도 특성

Figure 8은 동절기 온도조건하에서 슬래브 콘크리트의 온도이력으로 모의부재 슬래브의 상부, 중앙부, 하부의 온도를 나타낸 것이다.

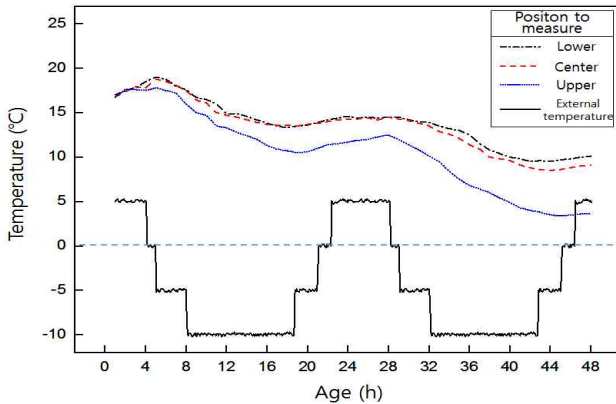


Figure 8. Temperature history of concrete

전반적으로 슬래브 상부, 중앙부, 하부의 온도분포는 콘크리트 타설 후 2일간은 5°C ~ 20°C의 온도분포로 콘크리트 수화열과 외기온의 변동에 대응하여 변동하는 경향을 나타내었는데, 이는 2중 버블시트의 높은 단열성능에 기인하여 콘크리트 슬래브가 초기동해 없이 양호하게 양생되는 결과를 나타내었다. 단, 슬래브 콘크리트의 온도분포는 하부와 중앙부에 비해 상부에서 외기온의 영향으로 온도가 비교적 낮은 분포를 나타내었다.

3.3 철근의 온도 특성

Figure 9 ~ 12는 버블시트의 양생방법 변화에 따른 철근의 온도이력을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 Figure 4의 1번에서 7번 철근으로 이동할수록 온도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히, 철근위치 1 ~ 3번의 경우는 콘크리트에

매립된 부분으로 양생방법에 관계없이 영상으로 거의 유사한 온도 및 경향을 나타내었으나, 단, 4번의 경우는 외기온과 가장 밀접한 콘크리트 부분으로써 양생방법 변화에 따라 일부 다른 양상의 온도분포를 나타내었다.

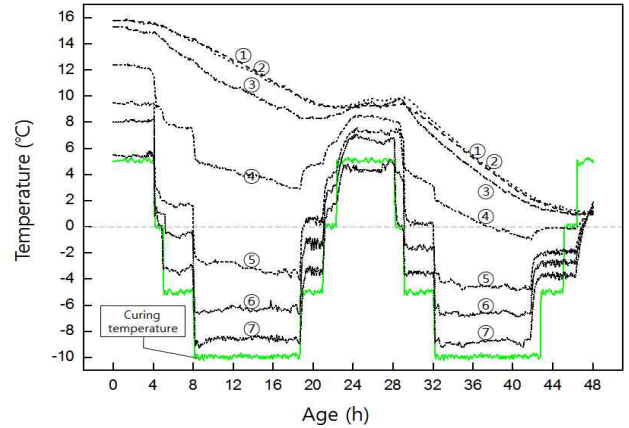


Figure 9. Temperature history of exposed reinforcing bar (A)

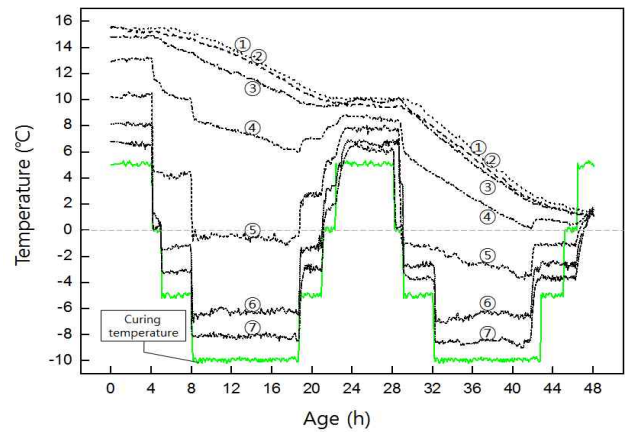


Figure 10. Temperature history of exposed reinforcing bar (B)

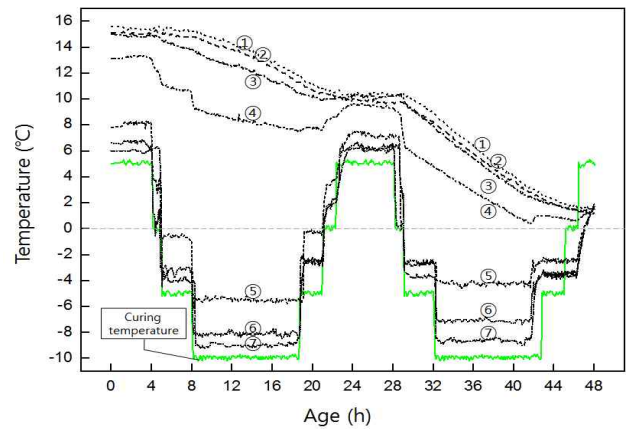


Figure 11. Temperature history of exposed reinforcing bar (C)

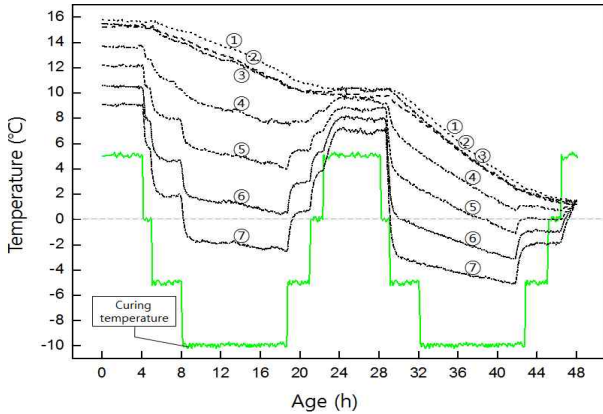


Figure 12. Temperature history of exposed reinforcing bar (D)

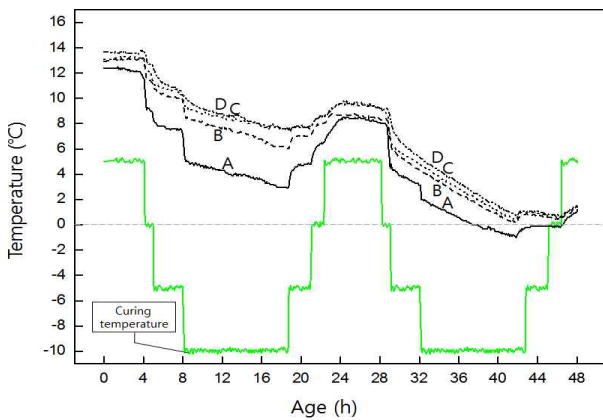


Figure 13. Temperature history of thermometer no.4

먼저, Figure 9는 양생방법 A로 철근의 중앙을 노출시킨 경우의 철근 온도분포를 나타낸 그래프이다. 즉, 벽식구조 Apt 공사 현장에서 가장 열악하게 사용되는 양생방법으로 노출철근의 영향에 의해 콘크리트의 초기동해 피해가 우려되는 양생방법이다. 그러나 본 실험조건에서 4번 부분의 철근 온도는 재령 36시간까지 영상을 나타내어 거의 문제가 되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 10, 11은 각각 양생방법 B와 C 즉, B는 벽철근 중앙을 철근간격 폭에 맞추어 버블시트를 절단 삽입하여 피복양생 하는 것이고, C는 철근 위치까지 버블시트를 크게 재단한 다음 철근 배근 간격에 맞추어 칼로 절단, 철근 주위를 버블시트로 감싸주는 방식에 대한 철근 온도분포를 나타낸 그래프이다. 양생방법 B와 C 모두는 양생방법 A에 비해 더 높은 온도를 나타내었고, 더욱이 외기에 노출된 5~7번 부분에서도 양생방법 A에 비해 더 높은 온도분포를 나타내어 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

Figure 12는 양생방법 D 즉, 벽철근 전부를 봉투식으로 씌우는 방법을 적용함에 따른 철근의 온도분포를 나타낸 그래프이다. 양생방법 D 또한 번잡스러운 방법이기도 하지만 실제 현장에서 양호한 방법으로 자주 사용되는 포설방법이다. 재령 24시간까지의 경우 가장 열악한 7번을 제외한 모든 부분에서 영상의 온도를 나타내었으며 재령 48시간까지 가장 높은 온도분포임을 알 수 있었다.

Figure 13은 버블시트의 양생방법 변화에 따른 4번 부분의 온도이력을 발취하여 나타낸 그래프이다. Figure 14는 열전대 위치별 철근의 온도이력을 3시간 간격으로 세분화하여 나타낸 그래프이다. 전반적으로 모든 양생방법에서 4번 부분은 영상의 온도분포를 나타내었으며, 초기동해 피해를 우려했던 양생방법 A의 경우에서도 재령 36시간 전후에서 영하의 온도로 내려갔지만 콘크리트의 어는점약 1.5°C 전·후인 것을 고려하면 초기동해의 피해는 없을 것으로 사료된다.

그러나, 기타의 B, C, D 양생방법의 경우는 일부 철근위치에서 노출이 있었음에도 불구하고 벽체부분의 수화열등의 영향으로 48시간 까지도 0°C 이하로 저하되지 않아 초기동해 피해는 문제되지 않는 것으로 밝혀졌다[7].

Table 7은 양생방법 변화에 따른 4번 부분의 최저온도, 평균온도 및 적산온도를 나타낸 그래프이다.

Table 7. Temperature history of thermometer no.4

Separation	Unit	Temperature of concrete ($^{\circ}\text{C}$)				
		A	B	C	D	
Minimum temperature	1 days	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2.9	6	6.9	7.2
		Ratio* (%)	40.2	83	95.8	100
	2 days	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	-1	0.1	0.4	0.7
		Ratio* (%)	-	14.2	57.1	100
Temperature average	1 days	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	6.3	8.8	9.5	9.7
		Ratio* (%)	64.9	90.7	97.9	100
	2 days	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2.3	3.5	3.9	4.2
		Ratio* (%)	54.7	83.3	92.8	100
Accumulative temperature	1 days	Temperature ($^{\circ}\text{DD}$)	16.3	18.8	19.5	19.7
		Ratio* (%)	82.7	95.4	98.9	100
	2 days	Temperature ($^{\circ}\text{DD}$)	12.3	13.5	13.9	14.2
		Ratio* (%)	86.6	95.1	97.8	100

* Relative ratio about curing method D

먼저, 최저 온도의 경우 1일차에서는 모두 영상의 온도를 나타내었지만, 2일차에서 양생방법 A적용 시에만 -1°C 의

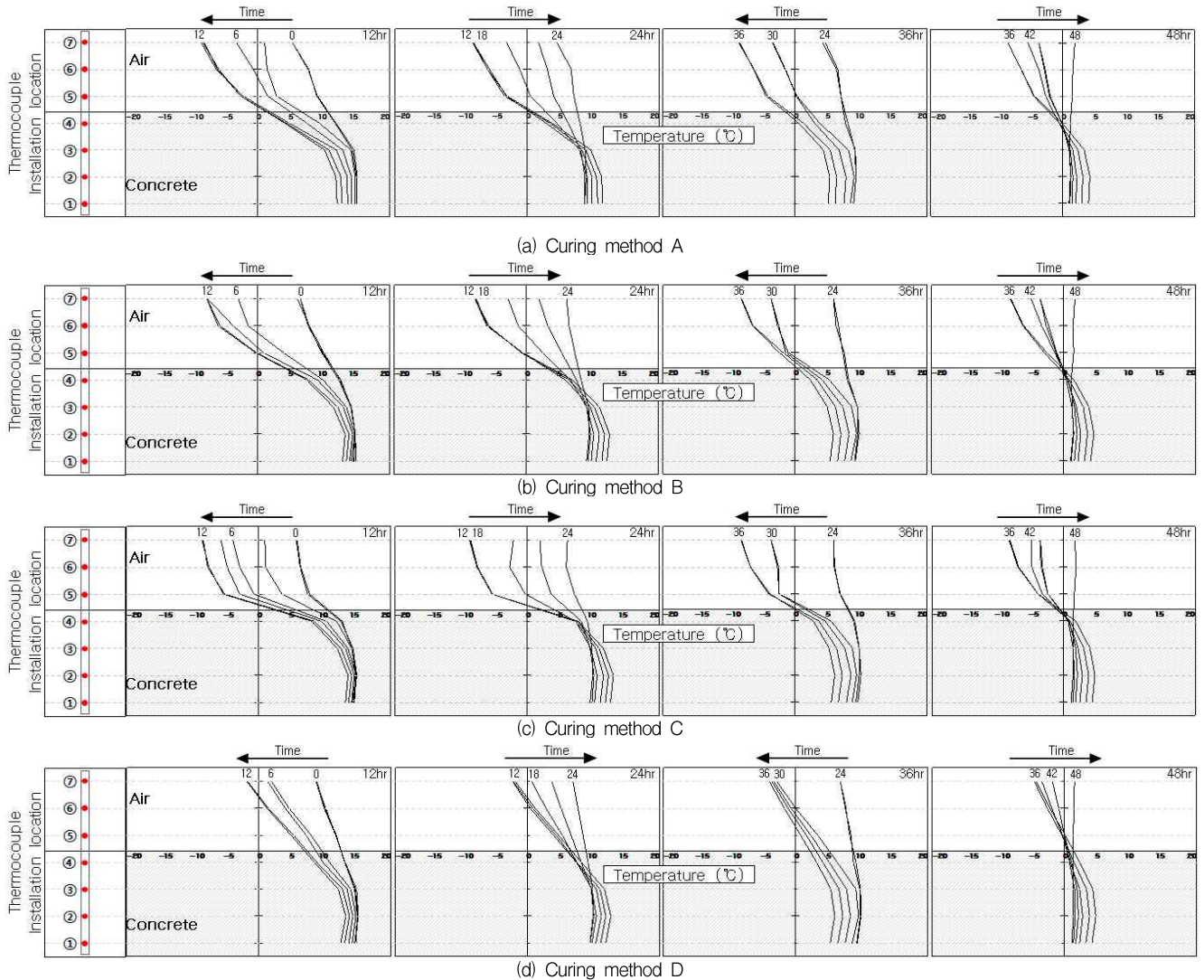


Figure 14. Temperature history of reinforcing bar by thermometer installation location

온도를 나타내었다. 평균 온도의 경우는 모든 양생방법에서 1, 2일차 모두 0 ~ 10°C의 온도 분포를 나타내었다. 적산 온도에서는 양생방법 A에서 D로 갈수록 커지는 경향을 나타내었다. 이는 버블시트를 포설함에 따라 단열성능이 향상됨에 기인한 것으로 판단된다[8].

종합적으로 한중콘크리트 벽식구조 건축물 시공에서 노출 철근 부분은 봉투식으로 가공하여 모두 씌워주는 D방법이 가장이상적이지만, 건축물 최외벽인 가장자리를 제외한 내부의 경우는 벽체철근과 철근사이의 벽체콘크리트가 노출되는 A방법도 초기동해에 문제가 없음을 알 수 있었다. 그러나 효율적인 관점에서는 철근과 철근의 간격부 만큼에 버블시트를 좁은 폭으로 잘라 덮어주는 B방법 및 여유있게 버블시

트를 재단한 후 철근간격으로 칼 절단 홈을 내어 철근을 감싸는 C방법도 전체를 덮는 D 방법의 80 ~ 90%의 효율을 발휘할 수 있는 양호한 방법으로, 결국 시공의 편리성까지도 고려하면 B방법이 가장 이상적인 방법으로 추천된다.

4. 결 론

본 연구에서는 겨울철 5 ~ -10 °C까지 변화하는 한중콘크리트 온도조건하에서 벽식구조 건축물의 벽체부 매립 및 노출철근 부위의 버블시트 포설방법 변화에 따른 철근의 온도분포를 비교하여 그 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 타설 후 2일간 슬래브 콘크리트 온도이력은 버블시트의 높은 단열성능에 기인하여 5 ~ 20℃로 시멘트 콘크리트의 수화열 및 외기온 변화에 따라 약간씩 변화하는 온도 분포를 나타내었는데, 단, 슬래브 하부와 중앙부에 비해 외기와 접촉한 상부가 제일 낮은 온도분포를 나타내었다.
- 2) 철근의 온도이력의 경우 전반적으로 콘크리트 속에 묻힌 1번에서 외기에 노출된 7번으로 이동할수록 온도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 양생방법은 A < B < C < D 방법순으로 외기에 근접하여 콘크리트에 매설된 4번의 온도가 높게 나타났다. 또한, A > B > C > D 순으로 편리한 시공성 및 경제성을 나타내었다.
- 3) 양생방법 변화에 따른 4번 부분의 온도 및 적산온도는 A < B < C < D 순으로 높게 측정되었는데, 대부분 영상의 온도를 나타내었다. 단, 양생방법 A의 경우는 2일차에서 영하의 온도로 저하하였지만 콘크리트의 초기동해 피해는 면할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 종합적으로 노출철근을 봉투식으로 가공하여 씌워주는 양생방법 D가 가장 우수하게 초기동해를 방지할 수 있는 것으로 판명되었다. 그러나, 시공의 효율성 및 시공의 편리성 까지도 감안하면 철근과 철근의 간격부 만큼 버블시트를 좁은 폭으로 잘라 덮어주는 B방법도 우수한 방법으로 추천된다. 더불어 조기강도를 확보할 수 있는 배합이나 내한축진제 등 혼화제를 병용하게 되면 더욱 효율적인 양생방법이 될 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 겨울철 타설된 콘크리트 표면을 낮은 열전도율 재료로 덮어 주므로써 우수한 단열성을 갖으며, 높은 전용성으로 경제성까지 뛰어난 2중 버블시트에 의한 표면피복 양생공법에 대하여 검토하였다. 하지만, 벽식구조 건축물 시공의 경우 버블시트로 포설되는 슬래브 부분은 초기동해를 방지할 수 있지만, 노출 철근 부분의 경우 버블시트의 포설이 까다롭기 때문에 이 부분에 대한 양생법 변화는 초기동해 피해 여부와 관련하여 의구심이 제기되고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 실제 시공중인 벽식구조 Apt 현장의 벽체 부분을 동절기 저온 조건하에서 시공하는 것을 모사하여 각종 표면피복 양생방법 변화에 따른 매립 및 노출철근 부분의

위치별 온도 분포 특성을 분석하여 효율적인 양생방법을 제안하고자 하였다. 그 결과, 여러 양생방법 중 D방법의 양생이 가장 우수하게 초기동해를 방지할 수 있는 것으로 판명되었다. 그러나, 시공의 효율성 및 시공의 편리성 까지도 감안하면 철근과 철근의 간격부 만큼 버블시트를 좁은 폭으로 잘라 덮어주는 B방법도 우수한 방법으로 추천된다.

키워드 : 2중버블시트, 노출철근, 온도이력, 한중콘크리트

Acknowledgement

This research was supported by grant of Cheongju University fellowship.

References

1. Han CG, Oh SG, Shin DA, Jeon CK, Kim J. The insulating curing method of cold weather concreting using double bubble sheets, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2006 Nov;18(6):51-9.
2. Han CG, Han MC. *Temperature and Concrete*, 1st ed, Seoul: Kimoonang; 2002, 423 p.
3. Korea Concrete Institute. *Curing of Concrete*, 2nd ed, Seoul: Kimoonang; 2015, Chapter 3, Curing of Winter; p. 40-54.
4. Jang DB, Choi HK. Performance evaluation by field application of improved bubble sheet for heating-insulation curing sheet of cold weather concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2011 Nov;27(11):169-76.
5. Han CG, Han MC, Baek DH. Proposal of optimal insulation curing method according to conditions of ambient temperature and change of surface curing material for concrete subjected to cold weather, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2010 Nov;26(11):95-102.
6. Han MC. Prevention of early frost damage of the concrete under severely low temperature according to heat curing methods, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Feb;16(1):67-76.
7. Han CG, Lee JG. Plastic and drying shrinkage cracking reduction by the bubble sheet curing, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Jun;16(3):211-7.
8. Han CG, Oh CH, Shin JG. Field application of the concrete with the combination of drying shrinkage-reducing super-plasticizer and double layer bubble sheet, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Mar;7(1):107-13.