

난방을 위한 바닥용 건조 시멘트 모르타르의 혼합수량비 변화에 따른 품질 특성

Quality of Dry Cement Mortar for Floor Heating Depending on Water-to-Dry Mortar Ratio

박 상 준¹

황 인 성²

이 건 철³

김 종^{4*}

Park, Sang-Jun¹

Hwang, Yin-Seong²

Lee, Gun-Cheol³

Kim, Jong^{4*}

Professor, Department of Architecture, Korea Polytechnic University, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do, 39257, Korea ¹

Researcher(Senior), R&D Center, Asia Cement CO., LTD., Cheoin-gu, Yongin-si, 17118, Korea ²

Professor, Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea ³

Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongju-si, 28503 Korea ⁴

Abstract

In this study, the various performance of dry cement mortar for Korean floor heating system depending on water-to-dry mortar ratios (W/DM) applied in project site was evaluated. According to the experiment conducted, the importance of mixing water for dry cement mortar was revealed by resultant performance or quality of the dry cement mortar for floor finishing by changing W/DM controlled in project site by workers. As the general trend, the flow was increased, and the unit volume weight was decreased with increasing W/DM. Additionally, compressive strength and drying shrinkage were significantly influenced by W/DM. Hence, it can be stated that the adding water for dry cement mortar should be managed precisely since excessively increased W/DM for workability improvement can cause performance degradation of floor mortar with the failures such as excessive bleeding, and severe segregation during the fresh state. As a summary of the study, to achieve a desirable performance of dry cement mortar, approximately 20 % of W/DM can be suggested to be managed in project site.

Keywords : floor heating system, dry cement mortar(DM), water-to-dry mortar ratio (W/DM), field management, flow

1. 서론

우리나라 주거공간은 입식 위주의 서양과 달리 주로 바닥의 복사열을 활용하는 바닥 난방 방식을 채택하고 있어, 세계적으로도 그 유래를 찾아볼 수 없는 독특한 형태를 취하고 있다[1].

그런데, 현재 국내 공동주택 아파트 공사에서 사용되는 난방 바닥용 모르타르 재료는 기 배합된 건조 시멘트 모

르타르를 적용하고 있다[2-4]. 즉, 건조 시멘트 모르타르(Dry cement mortar 이하 DM 이라 함)는 공장에서 생산한 건조 상태의 시멘트계 모르타르로서 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트 또는 메이슨리 시멘트 등과 함께 선별된 건조 모래를 각종 무기질 혼합재 등과 함께 혼합하여 제조된 것이다[5]. 따라서, 소규모 및 대규모 공사 현장에서는 단지 물만 섞어 작업할 수 있도록 한 것으로서 KS L 5220(건조 시멘트 모르타르)에서 정의하고 있다[6]. KS 표준에 규정된 종류로는 뽀칠 미장용, 일반 미장용, 조적용 및 바닥용으로 구분하여 물리적 성능에 대해 규정하고 있다.

일반적으로, 바닥용 DM은 현장 시공 시 두께가 매우 얇은 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라, 시공 시 작업성만

Received : December 24, 2020

Revision received : April 13, 2021

Accepted : April 15, 2021

* Corresponding author : Kim, Jong

[Tel: 82-43-229-8475, E-mail: jkim@cju.ac.kr]

©2021 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

을 위주로 중점관리함에 따라 혼합수량을 과도하게 높게 되는 배합을 채택하고 있다. 이는 압축강도 저하는 물론, 건조수축에 의한 다수의 균열이 발생하는 등 많은 문제점을 발생시킨다[7-11].

즉, 바닥용 DM은 혼합수량 변화에 따라 품질특성이 크게 상이하게 됨에도 불구하고, 현장 특성을 반영한 품질관리 기준이 미흡하여, 대부분이 DM 제조사에서 제시하는 기술자료에 의존하고 있는 실정이다[12].

따라서, 본 연구에서는 바닥 난방 공사에 사용하는 바닥용 DM의 현장 시공 품질관리기준 마련에 기초자료를 제시할 목적으로 혼합수량비 변화에 따른 바닥용 DM의 품질 특성에 대하여 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

바닥용 DM 혼합수량비 변화에 따른 품질 특성 검토를 위한 본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 혼합수량별 바닥용 DM의 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental plan

Test items		Variables	
Mixture	Dry mortar	1	· Floor
	Water (W/DM) (%)	5	· 18, 20, 22, 24, 26
Fresh mortar		3	· No impact flow
			· Unit weight
Experiment	Hardened mortar	3	· Bleeding capacity
			· Compressive strength (1, 3, 7, 28 days)
			· Length change ratio (top, center, bottom)
			· Appearance of cross-sectional shape

Table 2. Mixture proportions of dry cement mortar

W/DM ¹⁾ (%)	W/C (%)	Volume (ℓ/m ³)			Weight (kg/m ³)		
		W	C	S	W	C	S
18	72	329	145	526	329	456	1369
20	80	352	140	508	352	440	1321
22	88	374	135	491	374	425	1276
24	96	395	130	475	395	411	1234
26	104	414	126	460	414	398	1195

1) DM is C+S and W is the mixed water content at the field. W/DM is the ratio of the field mixed water content to the ready-made product DM.

먼저, 실험요인으로 DM의 단위질량에 대한 혼합수량 (이하 W/DM이라 함)은 각각 18, 20, 22, 24, 26%의 5

수준으로 계획하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 모르타르의 경우 무충격 플로시험, 단위용적질량 및 블리딩량을 측정하고, 경화 모르타르에서는 압축강도, 길이변화율 및 시험체의 단면형상을 육안관찰하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로 바닥용 DM은 보편적으로 사용되고 있는 국내 A사의 기배합된 기성 제품을 사용하였고, 혼합수는 일반 상수도를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 바닥용 DM과 관련하여 KS에서 제시하고 있는 물리적 성능은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical performance of floor DM

Compressive strength (MPa)	Water retention capacity (%)	Air content (Vol%)	Sand content (particles smaller than 0.15mm) (Wt%)	Maximum size standard sieve of sand (mm)	
				5.6 (Wt%)	6.7 (Wt%)
7 days	28 days	73.0	6.4	72.3	100
19.1	27.3				100

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 KS L 5220에 따라 실시하였다. 먼저, 굳지않은 모르타르의 유동특성으로 무충격 플로시험은 KS L 5111에 의거하여 실시하였는데, 세부적으로는 W/DM별로 혼합 후 모르타르 플로 콘에 부어 넣은 다음 다짐작업 없이 수직으로 들어 올려 최대 지름과 직교하는 지름의 평균값을 측정하였다. 단위용적질량은 KS L 3136에서 규정하는 400 ml 용기를 이용하여 Figure 1과 같이 단위질량을 측정 후 다음 식 (1) 의거하여 구하였다.

$$\text{단위용적질량 (kg/m}^3\text{)} = (\text{단위질량} / 400) \times 1000 \text{ --- (1)}$$



Figure 1. Measurement of unit volume weight

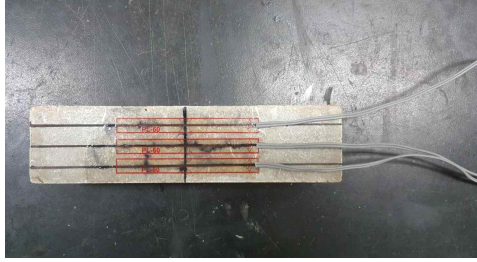


Figure 2. Attaching strain gauges to specimen the upper, middle and lower lengths of the specimen

블리딩량은 간이적인 방법으로, 250 ml 메스실린더에 W/DM별 혼합한 시료를 일정 높이로 채워 넣은 후 3시간 경과 후 떠오른 블리딩수(g)를 채취하여 상대 비교하여 평가하였다.

경화 모르타르의 압축강도는 KS L 5105에 따라 시험체를 제작하고, 재령 1일에 탈형한 후 실내온도 20℃, 상대습도 60%인 양생실에서 기중양생을 실시하였으며, 계획된 재령에 따라 재령 1, 3, 7, 28일에 측정하였다.

길이변화율은 40×40×160 mm의 시험체를 제작한 후 재령 1일에 탈형하고, 타설 높이에 따른 수축특성을 검토할 목적으로 Figure 2와 같이 시험체 상부와 중앙부, 그리고 하부면에 스트레인게이지를 부착하고, 데이터 로거(TDS-530)를 이용하여 1시간 간격으로 재령 28일까지 측정하였다. 단면형상의 관찰은 40×40×160 mm 시험체를 힘 절단하여 상부 페이스트 층의 단면형상을 육안으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

3.1.1 플로 및 단위용적질량

Figure 3과 4는 굳지 않은 모르타르의 실험결과로서 바닥 모르타르의 W/DM 변화에 따른 유동특성 및 단위용적질량을 나타낸 것이고, Figure 5는 W/DM별 플로 형상을 사진으로 나타낸 것이다.

당연한 결과로, W/DM가 증가함에 따라 플로는 증가하고, 단위용적질량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이때의 상관관계수는 0.9 이상으로 매우 양호한 것으로 분석되었다. 또한, 바닥용 DM의 W/DM별 플로 형상은 W/DM 26%에서 일부 재료분리 성상을 보이는 것을 제외하고는 전반적으로 원형의 양호한 성상을 보이고 있으나, 일부의

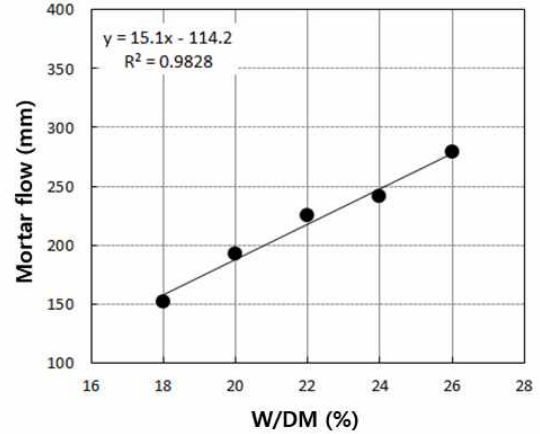


Figure 3. Flow in accordance with W/DM

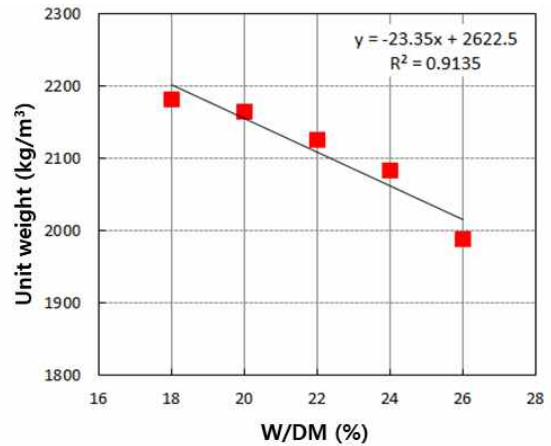


Figure 4. Unit weight in accordance with W/DM

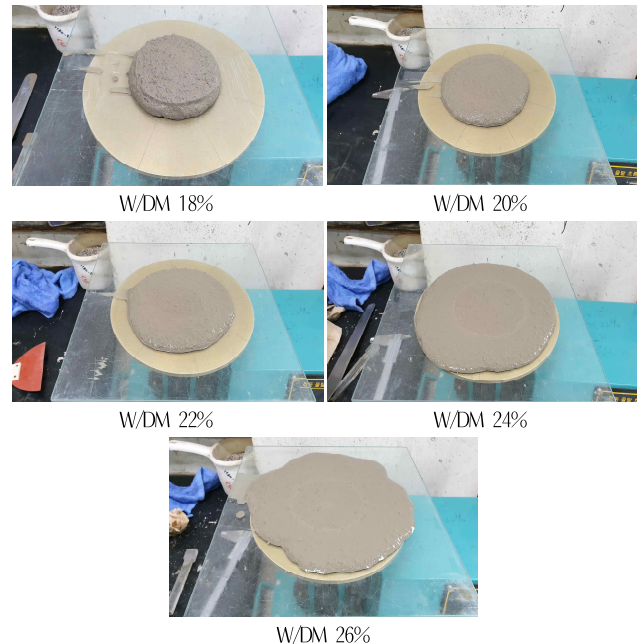


Figure 5. Flow shape in accordance with W/DM

경우 플로 형상은 양호하지만 표면에 약간의 블리딩도 확인할 수 있었다.

즉, 바닥용 DM의 현장시공 시 현장에서 혼입하는 혼합수량의 증가는 외관상 양호한 플로 형상과 함께 유동성 증가에 의한 시공성이 크게 개선될 것으로 예상되나, 시공성만을 고려한 지나친 혼합수량의 증가는 레미콘과 마찬가지로, 지나친 가수(현장 혼합수량)로 인한 압축강도의 저하나 블리딩에 의한 균열 발생 등의 측면에서 심각한 품질 저하가 예상되므로, 현장 시공 시 DM에 대한 현장 혼합수량의 철저한 품질관리 계획 수립이 필요한 것으로 사료된다. 이와 함께, 현장 혼합수량의 저감 및 관리를 위한 감수제의 사용 등에 대한 방안에 대해서도 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.1.2 블리딩량

Figure 6은 바닥용 DM의 W/DM과 블리딩량과의 상호관계를 나타낸 것이다.

블리딩량은 간이적으로 블리딩수를 측정하여 상대평가한 것이지만, 바닥용 DM의 W/DM(현장 혼합수량)이 증가함에 따라 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, W/DM 24%까지는 블리딩량이 비례적으로 점차 증가하지만, W/DM 26%에서는 급격히 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 절대 혼합수량의 급격한 증가에 기인한 재료 분리로 내부 미립분이 레이턴스로 떠오르고, 미립분이 빠져나온 내부공극이 수로를 형성하게 되는 특징에 기인하여 블리딩이 크게 증가한 것으로 사료된다.

따라서, 바닥용 DM의 경우 실무에서 적용되는 다량의 혼합수량에 기인하여 블리딩량이 크게 증가하게 되고, 이

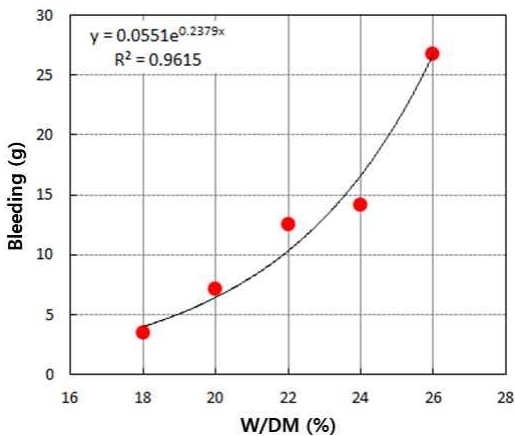


Figure 6. Bleeding in accordance with W/DM

로 인해 마감 작업시간이 지연되는 문제뿐만 아니라 경화 모르타르의 압축강도 저하와 건조수축에 의한 균열 발생 등의 악영향으로 나타날 수 있으므로, 현장 시공 시 블리딩수의 증가 방지를 위한 적절한 W/DM 등의 품질관리 기준 마련이 중요하다.

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 압축강도

Figure 7은 바닥용 DM의 W/DM별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Figure 8은 Figure 7의 결과를 바탕으로 재령별 W/DM에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 바닥용 DM의 W/DM별 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하고, W/DM이 높을수록 비례적으로 감소하는 일반적인 경향으로 나타났다.

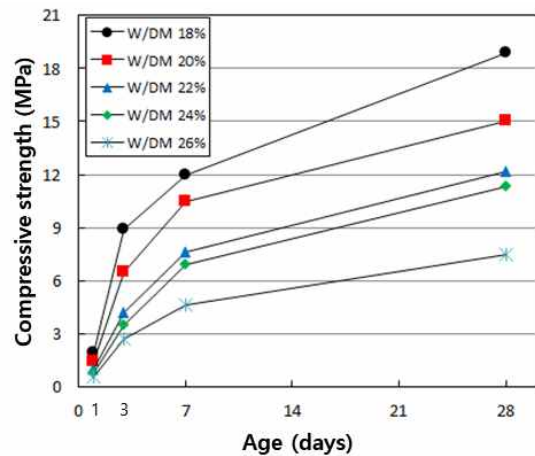


Figure 7. Compressive strength in accordance with age for each W/DM

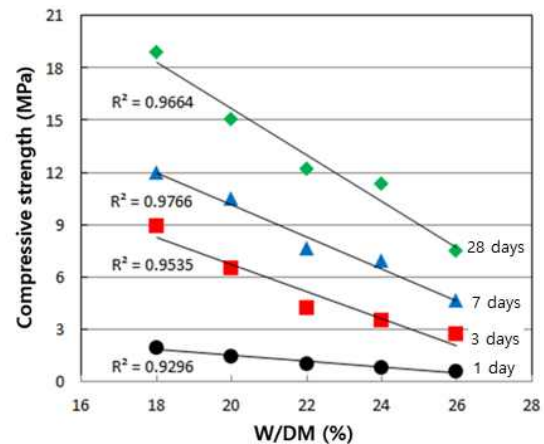


Figure 8. Influence of W/DM on compressive strength

한편, W/DM별 재령 28일 압축강도는 모두 KS의 물리 성능인 21 MPa를 만족하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 현장 시공을 가정한 실험실 조건에서의 압축강도로서, 바닥용 DM의 KS 물리 성능인 제품 강도와 다소 차이를 나타내는 것으로 사료된다. 다만, 실무에서 혼합수량 증가에 따른 압축강도는 기포 바탕에서의 물빠짐 및 1~3차 미장마감을 실시하는 등의 시공 환경조건 등에 기인하여 일부 압축강도가 다소 증진될 수 있을 것으로 예상된다. 참고적으로, 본 연구에 사용한 바닥용 DM의 KS 규격에 의한 28일 압축강도는 27.3 MPa(Table 3 참조)인 것을 확인하였다.

따라서, 현장에서의 시공 품질관리는 우선적으로, 바닥용 DM의 요구 압축강도를 설정하고, 이를 만족할 수 있는 시공대책을 마련할 필요가 있다고 판단된다. 이는 실제 시공된 바닥용 DM의 압축강도를 직접 확인할 수 있는 방안으로 콘크리트 구조물을 대상으로 적용되는 구조체 관리용 공시체를 활용하는 방안 또는 다양한 시공환경에 의한 현장 혼합수량의 변동에서도 요구성능을 만족시킬 수 있도록 공장제품인 건조 시멘트 모르타르 자체의 압축강도 성능을 일정 수준 이상으로 상향조정 하는 등의 대책이 필요하다는 것을 시사하는 것이다.

본 연구범위에서 재령별 W/DM과 압축강도 간에는 결정계수 0.9 이상의 양호한 상호관계가 있는 것으로 나타났는데, 이는 바닥용 DM의 현장 압축강도는 대상 현장에서 적용되고 있는 W/DM과 비례하고 있는 점, 그리고 앞에서 언급한 바와 같이 굳지 않은 상태의 유동 특성과 단위용적질량, 그리고 W/DM 간에는 높은 상관관계가 있다는 점 등을 종합하여 볼 때, 바닥용 DM의 현장 시공 시 현장 혼합수량(W/DM)의 관리는 경화상태에서의 압축강도뿐만 아니라, 굳지 않은 단계의 유동성 및 시공성(작업성)에 대한 현장 품질관리 지표로 활용 가능한 것으로 사료된다.

3.2.2 길이변화율

Figure 9는 바닥용 DM의 시간경과에 따른 길이변화특성을 W/DM별로 구분하여 나타낸 것이다. 즉, 동일 W/DM인 시험체(40×40×160 mm)를 대상으로 상부와 중앙부 및 하부에 각각 스트레인이메이저를 부착하여 재령 28일까지의 길이변화율을 측정하였다.

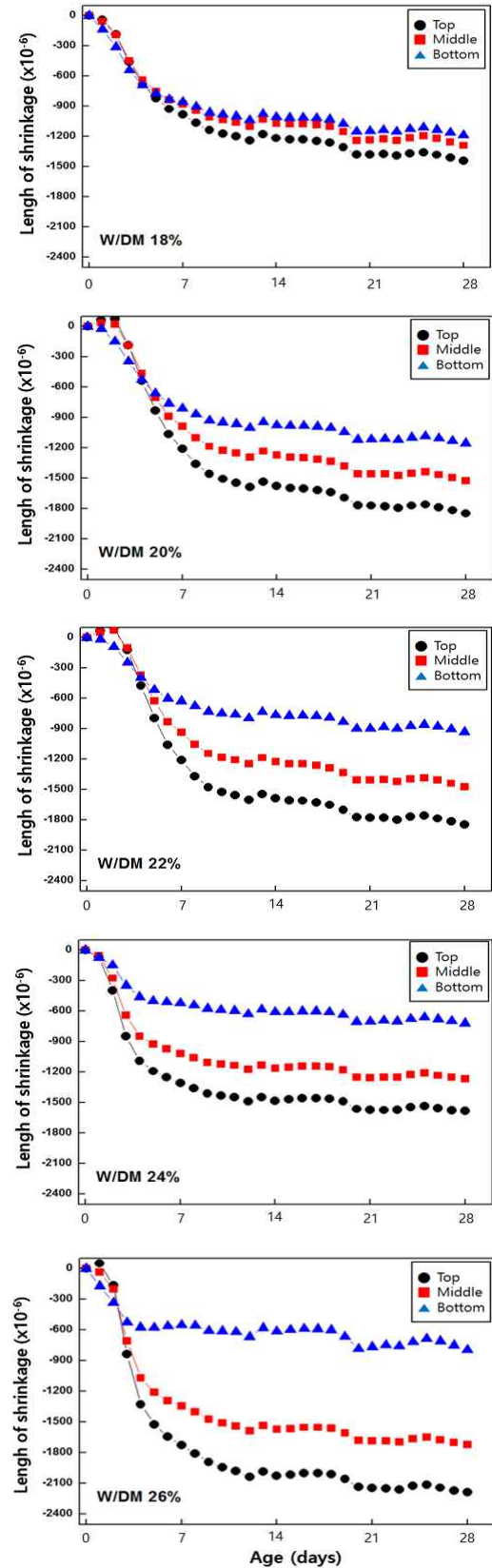


Figure 9. Length of shrinkage in accordance with age for each W/DM

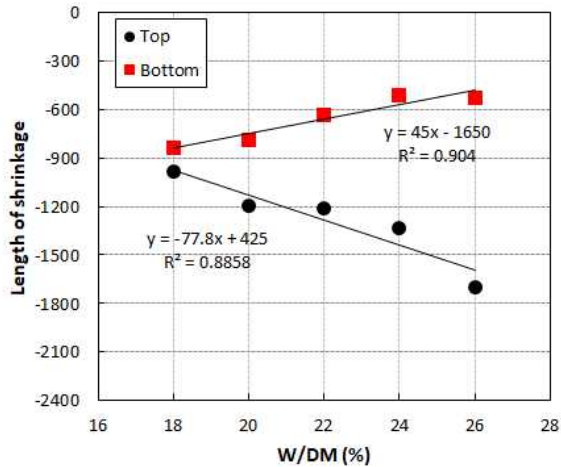


Figure 10. The difference in length shrinkage rate of the upper and lower surfaces according to W/DM (7 days)

전반적인 길이변화 특성은 상부, 중앙, 하부의 순으로 크게 수축하는 것으로 나타났는데 특히, 상부면의 길이변화가 큰 것으로 나타난 것은 블리딩 등 재료분리의 영향으로 상부면에 물결합재비가 커지고, 또한, 레이턴스 등 미립층이 형성하여 크게 나타난 것으로 사료된다. 그러나, 시험체 하부면의 길이변화는 W/DM이 증가함에 따라 오히려 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 블리딩 및 재료분리에 의해 상부면이 레이턴스 층으로 형성된 반면, 하부면은 W/DM 증가에 따라 블리딩에 의한 W/DM의 감소 및 잔골재의 침하 등에 의해 조직이 치밀하게 형성되어 상대적으로 길이변화 특성이 작게 나타난 것으로 판단된다.

Figure 10은 재령 7일의 W/DM에 따른 시험체의 상부와 하부면의 길이변화 차이를 비교하여 나타낸 것이고,

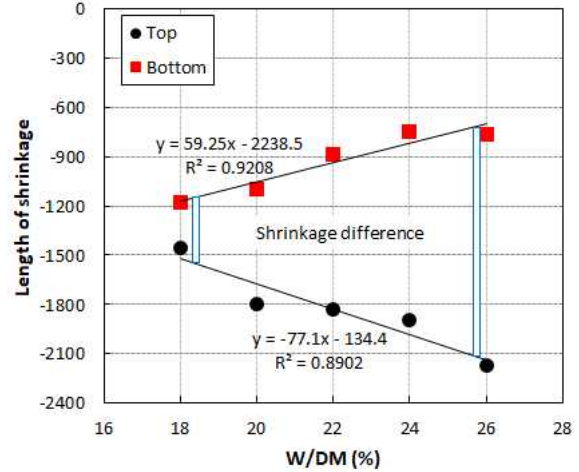


Figure 11. The difference in length shrinkage rate of the upper and lower surfaces according to W/DM (28 days)

Figure 11은 재령 28일의 W/DM에 따른 상부와 하부면의 길이변화 차이를 나타낸 것이다.

상부 및 하부면 길이변화율 차이는 재령이 증가할수록, 그리고 W/DM가 증가할수록 그 차이가 더욱 커지는 것으로 나타났는데, 이는 수분증발과 함께 블리딩이나 밀도차에 기인한 재료분리 등의 특성이 복합되어 나타난 결과로 분석된다.

바닥용 DM의 건조수축 균열은 동일한 배합의 기성 제품을 사용 할지라도 현장 혼합수량의 변동에 따른 영향으로 시공면 상·하부 구성재료의 재료분리가 발생하게 되고, 상부 및 하부의 수축 응력 차이 등에 기인한 균열이 발생하거나 심한 경우 바닥판이 말아 올리는 컬링(Curling) 현상 등이 발생하게 되는 것으로 판단된다.

따라서, 바닥용 DM의 이러한 문제점을 최소화 하기 위

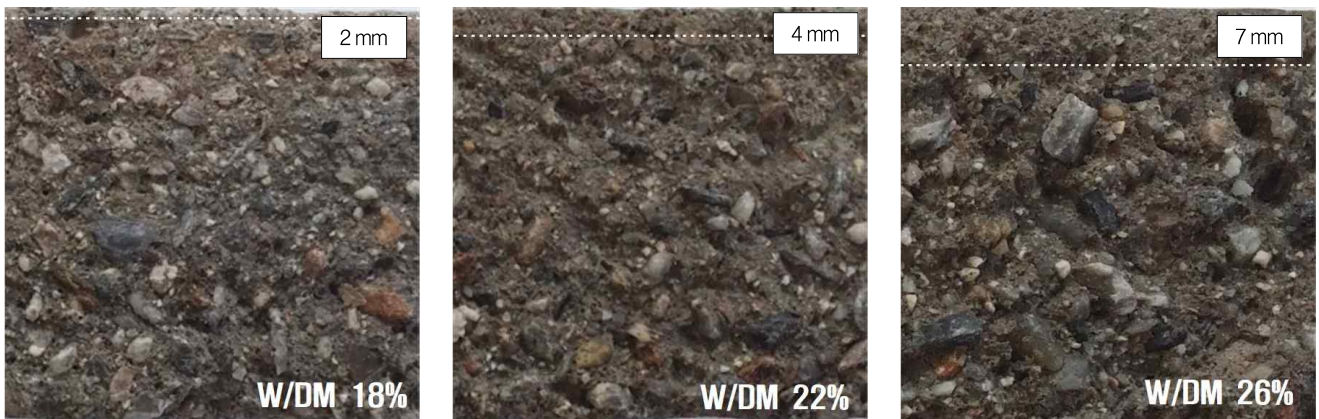


Figure 12. Cross-sectional conditions by W/DM

해서는 바닥용 DM의 상·하부면 수축 응력을 효과적으로 저감할 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단되는데, 세부적으로는 바닥용 DM의 현장시공 시 적정의 혼합수량(W/DM)이 적용/관리되어야 할 것으로 판단되는 바, 본 연구범위에서는 종합적으로 판단할 때 현장 혼합수량(W/DM) 20% 이하 수준이 유동성 및 경화 특성 등의 품질관리 측면에서 바람직한 것으로 판단된다.

3.2.3 단면형상 육안 관찰

Figure 12는 W/DM 각각 18, 22, 26%인 바닥용 DM 시험체의 단면형상을 나타낸 것이다.

먼저, W/DM 18%의 시험체는 단면 전체적으로 잔골재가 골고루 분포하면서, 페이스트와 골재의 재료 분리는 거의 발생하지 않은 것으로 나타난 반면, W/DM이 증가할수록 블리딩이 증가하고 페이스트와 골재가 분리하면서 상부면에 미립층이 비례적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 W/DM 26%의 시험체에서는 단면 두께 40 mm의 15% 정도가 페이스트 미립층이 상부면에 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 바닥 난방을 위한 바닥용 건조 시멘트 모르타르의 현장 W/DM 변화에 따른 품질 특성을 검토한 것으로, 본 연구범위에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 현장 혼합수량(W/DM) 변화에 따른 바닥용 DM의 플로 및 단위용적질량은 W/DM이 증가할수록 비례적으로 증가 및 감소하는 양호한 상관관계로 나타나, 바닥용 DM의 현장 시공 시 플로 및 단위용적질량을 통한 적정 W/DM에 대한 품질관리가 가능하다고 판단된다.
- 2) 바닥용 DM의 블리딩량은 W/DM이 증가할수록 비례적으로 증가하다가 일정 혼합수량 이상에서는 급격히 증가하는 경향으로 나타나, 적정 범위의 혼합수량을 사용함으로써 현장 품질관리를 통한 블리딩 제어가 요구된다.
- 3) 재령별 압축강도는 W/DM이 증가할수록 모든 재령에서 반비례하는 것으로 나타났다. 따라서, 실무에서 요구되는 바닥용 DM의 압축강도 설정과 함께

적정 혼합수량에 대한 철저한 품질관리가 필요하고, 이를 위해서는 플로 등의 시험관리를 통해 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 사료된다.

- 4) 바닥용 DM의 타설 위치별 길이변화율은 공통적으로 상부, 중앙, 하부 순으로 크게 나타나고, 혼합수량비(W/DM)가 증가할수록 상부면은 증가, 하부면은 감소하면서 상·하부의 수축 차이가 크게 발생하였다.
- 5) 본 연구범위의 실험결과를 종합하면, 바닥용 DM의 현장 시공 시 유동성 및 경화 특성 등의 품질관리 측면에서 현장 품질관리를 위해 바람직한 적정 혼합수량은 W/DM 약 20% 수준인 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 바닥 난방을 위한 바닥용 건조 시멘트 모르타르의 현장 혼합수량비(W/DM) 변화에 따른 각종 품질 특성을 검토한 것이다. 연구결과, 바닥용 건조 시멘트 모르타르의 현장 시공은 현장에서 혼합하는 혼합수량의 증가에 따라 플로가 증가하고, 단위용적질량이 감소하는 일반적인 경향이며, 압축강도 및 건조수축 길이변화율은 혼합수량의 변동에 따라 바닥용 DM의 품질에 크게 영향을 미치기 때문에 적정 W/DM의 관리가 바닥용 DM의 시공 품질 확보에 있어서 매우 중요하다. 따라서, 바닥용 DM의 현장 시공시 작업자의 작업성만을 고려한 과도한 현장 W/DM 증가는 과도한 블리딩 및 재료분리 등으로 인해 바닥용 DM의 경화 후 품질저하를 초래할 수 있으므로 주의가 필요하다. 이상으로, 본 연구 범위의 실험결과를 종합하면, 현장 시공 시 바닥용 DM의 품질확보를 위한 현장 품질관리 기준으로는 W/DM 약 20%가 바람직한 것으로 판단되고, 이를 바탕으로 현장 여건에 따라 적정 혼합수량이 관리될 수 있다면 바닥용 DM의 양호한 품질확보가 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 바닥 난방, 건조 시멘트 모르타르, 혼합수량, 현장 관리, 플로

Funding

Not applicable

ORCID

Sangjun Park, <http://orcid.org/0000-0002-7377-7553>
 In-Seung Hwang, <http://orcid.org/0000-0003-4777-4970>
 Gun-Chel Lee, <https://orcid.org/0000-0003-4743-6373>
 Jong Kim, <https://orcid.org/0000-0001-9802-3726>

References

- Kim YJ, Park SD. Thermal characteristics of ondol heating space and estimation of radiant energy from ondol surface. *Journal of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*. 1991 Aug;3-18.
- Song TH, Park JS. Study on flow and compressive strength characteristics of dry mortar water-binder ratio. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*; 2019 Apr 26-27; Seoul, Korea. Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2019. p. 465-8.
- Han MH, Han SY. Effects of crack reducing agent mixed with aluminum slag on the engineering properties of floor mortar for apartment house. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2017.Dec;5(4):450-7. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2017.5.4.450>
- Ki TK, Kim WK, Park SB, Han SM, Lee DH, Ji CY. Evaluation of the field application of high-strength dry mortar for floor in apartment. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*; 2019 Nov 6-8; Byeonsan, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2019. p. 505-6.
- Lee JH, Hong SH, Kim DH, Kim JW, Jeong Y. Development of mas onry cement and applicability evaluation of render mortar using It. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*; 2017 Nov 1-3; Andong, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2017. p. 471-2.
- KS L 5220. Dry ready mixed cement mortar. *Korean Industrial Standard* 2018. p. 1-5.
- Lee BK, Kim GY, Choe GC, Kim HS, Yoon MH, Kim RH. Evaluation of dry shrinkage and crack resistance of shrinkage-compensating non-sintered binder based floor mortar. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*; 2015 May 13-15; Gwangju, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2015. p. 459-60.
- Kim Dh, Kim JW, Jeong Y. Effects of material property and construction condition on the crack of floor mortar. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*. 2016 May 11-13; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute. 2016. p. 415-6.
- Go SS, Lee JY. An experimental study on the crack prevention of the surface finishing mortar in ondol floor structure. *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 1998 Apr;14(4):369-77.
- Kim RH, Kim GY, Lee BK, Kim JH, Han SH, Choe GC. Experimental study on properties of dry shrinkage deformation of floor dry-mortar with alpha-hemihydrate gypsum. In *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*; 2014 Nov 14-15; Gosung, Korea. Seoul (Korea): The Korean Institute of Building Construction; 2014. p. 158-9.
- Lee YW, Song YC, Kim YR, Mun, KJ. The evaluation of performance of finishing mortar in ondol floor structure using high-calcium fly ash. In *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*; 2013 May 9-10; Buyeo, Korea. Seoul (Korea): The Korean Institute of Building Construction; 2013. p. 289-91.
- Shin SH, Ryu HS, Kim DM. Experimental study on the characteristics of materials for development of self-leveling construction system. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*. 2016 May 11-13; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute. 2016. p. 551-2.