

종이와 톱밥을 혼합한 단열 모르타르 재료 개발에 관한 연구

이승영 · 손기상[†]

서울산업대학교 안전공학과
(2009. 9. 2. 접수 / 2010. 4. 20. 채택)

Making the Insulation Mortar Mixed with Waste Paper and Sawdust

Seung-Young Lee · Ki-Sang Son[†]

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
(Received September 2, 2009 / Accepted April 20, 2010)

Abstract : This study is to test insulation mortar mixed with wastepaper and sawdust to find out its insulation performance. Therefore, wastepaper and sawdust have been added to normal mortar. They are analyzed for the above purpose using compressive strength and insulation performance. It is found that the more wastepaper and sawdust will be mixed, the lower heat conductivity will be taken. Wastepaper and sawdust mixture will be more 2.0% then the insulation mortar quality can be compatible with the 3rd kind of the standard. Optimal mixture for insulation will be wast paper :sawdust = 4 : 6. Cohesive test of materials showed that test material has stronger than stand are 0.10N/mm^2 . It is satisfactory the test result showed a range of $0.12\sim 0.15\text{N/mm}^2$ from the test result. Optimal mixture of wastepaper and sawdust have been found out from the study comprehensively, exclusive of the proportion of wastepaper : sawdust = 8 : 2. It is thought that standard of length deformation; 0.5% is reasonable. This means that deformation of mortar itself can be considered. But it is also Shown that water mixture has also been sharply changed at first flow test. Therefore, it is thought that absorbed water content in the material gave considerable effect to variation rate.

Key Words : mortar, insulation performance, insulation mortar, wastepaper, sawdust

1. 서론

현 사회는 급속한 산업발달과 인구증가로 인해 건축물은 대형화, 초고층화, 고밀도화로 이어지고 있다. 이에 따라 건축물의 기본재료의 사용량 역시 증가하고 있다. 이는 유효 자원의 고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 부영양화, 생태계 동성, 기후 변화, 인체 독성 등의 환경오염 문제를 발생 시키고 있다^{1,2)}. 세계 각국은 유효자원의 가격이 치솟으면서 자원의 대량투입으로 지속가능한 경제성장은 어렵다는 것을 알고 자원의 효율적 사용, 환경 친화적 이용에 국력을 집중하고 있어 우리 또한 관심을 가져야한다. 현재 사용 가능한 유효자원 중 사용 후 버려지는 목재섬유인 종이와 톱밥을 이용하여 친환경적인 건축재료의 활용범위를 넓히는 가능성을 고려한 단열모르타르를 제작하여 경제적이고 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 기대한다^{3,6)}.

본 연구에서는 목재 섬유(종이, 톱밥 등)를 모르타르에 혼합하여 건축재료로서 요구되는 사용재료에 대한 이론을 고찰하고 현장적용상 강도적 특성, 길이 변화 특성, 열전도 특성, 부착 강도 특성 등을 주요 인자로 고려 후 실험하여 최적 배합의 범위를 제시하고 종이와 톱밥을 혼합한 모르타르를 적극 활용하기 위해 친환경적이고 효율적인 우수 단열재를 제조하여 앞으로의 활용방안으로 분석 및 검토하는 것으로 하며, 향후 기본 자료로 활용방안을 제공하는데 연구의 목적을 둔다.

2. 시험계획 및 방법

2.1. 시험 개요

본 시험은 모르타르 재료에 종이와 톱밥을 비율로 혼합하여 종이톱밥 모르타르의 공시체를 제작한 후 압축강도 시험(KS L 5105), 열 전도율 시험(KS L 9016), 부착강도 시험(KS F 4716), 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법(KS F 2424) 등을 행하여 종이와 톱밥을 혼합시 단열모르타르가

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksson@snut.ac.kr

현장에서 사용여부와 종이와 톱밥의 적정 혼입율을 산출하는데 있다.

2.2. 배합설계

Table 1. Mixing proportion of mortar

	W/C	Cement	Water	Fine Aggregate
Weight	48.5%	4,700	2,279.5	11,515

(단위 : g)

Table 2. Mixing proportion of paper and sawdust

Mixing Proportion ratio of paper and sawdust	Mixing proportion of Paper and sawdust (%)	Weight of Paper and sawdust (g)
NOR	-	-
	2 : 8	4.61 : 18.42
	4 : 6	9.21 : 13.82
	5 : 5	11.52 : 11.52
	6 : 4	13.82 : 9.21
0.2%	8 : 2	18.42 : 4.61
	2 : 8	9.21 : 36.85
	4 : 6	18.42 : 27.64
	5 : 5	23.03 : 23.03
	6 : 4	27.64 : 18.42
0.4%	8 : 2	36.85 : 9.21
	2 : 8	13.82 : 55.27
	4 : 6	27.64 : 41.45
	5 : 5	34.55 : 34.55
	6 : 4	41.45 : 27.64
0.6%	8 : 2	55.27 : 13.82
	2 : 8	18.42 : 73.70
	4 : 6	36.85 : 55.27
	5 : 5	46.06 : 46.06
	6 : 4	55.27 : 36.85
0.8%	8 : 2	73.70 : 18.42
	2 : 8	23.03 : 92.12
	4 : 6	46.06 : 69.09
	5 : 5	57.58 : 57.58
	6 : 4	69.09 : 46.06
1.0%	8 : 2	92.12 : 23.03

* 종이입자는 5mm × 5cm, 톱밥은 0.5~5mm

2.3. 시험 개요

압축강도 시험은 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법(KS L 5105)에 따라 50 × 50 × 50mm의 시험체를 3개씩 재령 28일간 23±2℃의 온도로

수중 양생한 직후 규정에 맞는 압축강도 시험기를 통해 시험한다.

열 전도율 시험은 단열모르타르(KS F 4040) 규정 내에 있는 보온재의 열 전도율 측정방법(KS L 9016)으로 실시하되, 측정 장비의 부재로 인해 K사에 의뢰하여 진행한다.

부착 강도 시험은 단열모르타르(KS F 4040) 규정 내에 있는 부착 강도 시험 중 시멘트계 바탕 바름재(KS F 4716)으로 실시한다.

길이 변화 시험은 단열모르타르(KS F 4040) 규정 내에 있는 모르타르 및 콘크리트 길이 변화 시험방법(KS F 2424)으로 실시한다.

3. 시험 결과

3.1. 압축강도

Table 3. Test result of compressive strength

Test piece	Mixing proportion	Paper : sawdust	Test piece Result(Mpa)			Average Result (Mpa)
			1	2	3	
CM NOR	-	-	17.04	17.12	17.02	17.06
CM02P2S8	0.2%	2 : 8	16.20	16.40	16.30	16.30
CM02P4S6		4 : 6	15.44	15.30	15.22	15.32
CM02P5S5		5 : 5	15.02	15.12	15.22	15.12
CM02P6S4		6 : 4	14.88	14.79	14.77	14.81
CM02P8S2		8 : 2	14.85	14.91	14.88	14.88
CM04P2S8	0.4%	2 : 8	14.77	14.80	14.74	14.77
CM04P4S6		4 : 6	14.62	14.72	14.70	14.68
CM04P5S5		5 : 5	15.60	15.70	15.56	15.62
CM04P6S4		6 : 4	14.55	14.22	14.28	14.35
CM04P8S2		8 : 2	13.14	13.12	13.02	13.09
CM06P2S8	0.6%	2 : 8	13.07	13.09	13.08	13.08
CM06P4S6		4 : 6	13.44	13.45	13.38	13.42
CM06P5S5		5 : 5	13.33	13.32	13.35	13.33
CM06P6S4		6 : 4	12.90	13.10	12.85	12.95
CM06P8S2		8 : 2	12.78	12.77	12.62	12.72
CM08P2S8	0.8%	2 : 8	13.12	13.06	13.07	13.08
CM08P4S6		4 : 6	12.66	12.65	12.62	12.64
CM08P5S5		5 : 5	12.63	12.63	12.66	12.64
CM08P6S4		6 : 4	13.52	13.58	13.55	13.55
CM08P8S2		8 : 2	12.32	12.35	12.32	12.33
CM10P2S8	1.0%	2 : 8	12.23	12.22	12.24	12.23
CM10P4S6		4 : 6	12.19	12.20	12.13	12.17
CM10P5S5		5 : 5	12.05	12.04	12.00	12.03
CM10P6S4		6 : 4	12.61	12.60	12.56	12.59
CM10P8S2		8 : 2	11.74	11.76	11.74	11.75

압축강도 시험결과 종이와 톱밥을 섞지 않은 시험체(CMNOR)의 경우 17.06Mpa이고, 0.2% 혼입의 평균은 15.29Mpa(CMNOR 강도 대비 89.61%), 0.4% 혼입의 평균은 14.50Mpa(CMNOR 강도 대비 85.03%), 0.6% 혼입의 평균은 13.10Mpa(CMNOR 강도 대비 76.80%), 0.8% 혼입의 평균은 12.85Mpa(CMNOR 강도 대비 75.31%), 1.0% 혼입의 평균은 12.16Mpa(CMNOR 강도 대비 71.25%)로 측정되었다. 또한, 종이와 톱밥의 혼입 비율이 높아질수록 압축강도는 낮아짐을 알 수 있다. 이는 Table 3에서 확인된다.

3.2. 열 전도율 시험

열 전도율 시험 결과 종이와 톱밥을 섞지 않은 시험체(TMNOR)의 경우 0.226W/m·k이고, 0.2% 혼입의 평균은 0.220W/m·k(TMNOR 시험체 대비 97.26%), 0.4% 혼입의 평균은 0.214W/m·k(TMNOR 시험체 대비 94.87%), 0.6% 혼입의 평균은 0.207W/m·k(TMNOR 시험체 대비 91.42%), 0.8% 혼입의 평균은 0.201W/m·k(TMNOR 시험체 대비 88.94%), 1.0% 혼입의 평균은 0.190W/m·k(TMNOR 시험체 대비 84.07%)로 측정되었다. 또한, 종이와 톱밥의 혼입 비율이 높아질수록 열 전도율 역시 높아짐을 알 수 있다.

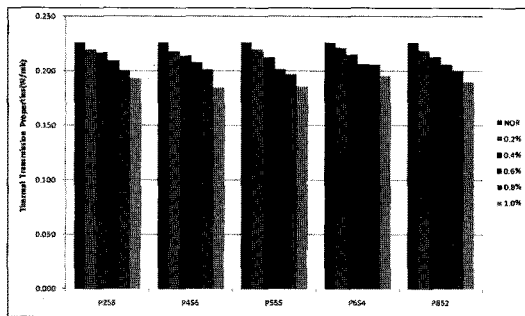


Fig. 1. Test result of heat conductivity.

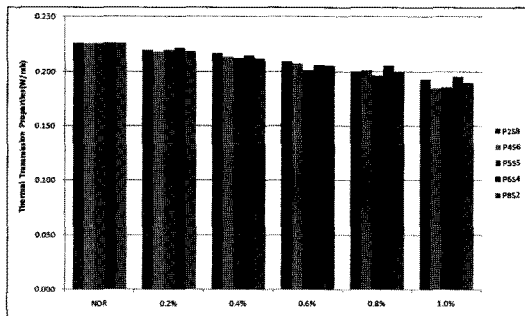


Fig. 2. Heat conductivity result of percentage mixed with paper and sawdust.

Fig. 1과 2는 종이와 톱밥의 배합비별 열 전도율과 종이와 톱밥의 혼입량에 대한 열 전도율 결과이며, 종이와 톱밥의 혼입량이 높아질수록 열 전도율 역시 낮아짐을 그림을 통해 알 수 있다.

3.3. 부착강도 시험

Table 4는 단열모르타르(KS F 4040) 규정 내에 있는 부착 강도 시험으로 시행 하였으며, 종이와 톱밥을 섞지 않은 시험체(BMNOR)의 경우 0.15N/mm² 이고, 0.2% 혼입의 평균은 0.15N/mm²(BMNOR 시험체 대비 97.2%), 0.4% 혼입의 평균은 0.14N/mm²(BMNOR 시험체 대비 94.9%), 0.6% 혼입의 평균은 0.14N/mm²(BMNOR 시험체 대비 91.0%), 0.8% 혼입의 평균은 0.13N/mm²(BMNOR 시험체 대비 90.3%), 1.0% 혼입의 평균은 0.13N/mm²(BMNOR 시험체 대비 88.4%)로 측정되었다.

Table 4. Test result of adhesion strength

Test piece	Mixing proportion	Proportion Paper : sawdust	Test Result (N/mm ²)
BMNOR	-	-	0.15
BM02P2S8	0.2%	2 : 8	0.14
BM02P4S6		4 : 6	0.15
BM02P5S5		5 : 5	0.14
BM02P6S4		6 : 4	0.15
BM02P8S2		8 : 2	0.15
BM04P2S8	0.4%	2 : 8	0.15
BM04P4S6		4 : 6	0.15
BM04P5S5		5 : 5	0.14
BM04P6S4		6 : 4	0.14
BM04P8S2	8 : 2	0.14	
BM06P2S8	0.6%	2 : 8	0.14
BM06P4S6		4 : 6	0.13
BM06P5S5		5 : 5	0.14
BM06P6S4		6 : 4	0.14
BM06P8S2	8 : 2	0.13	
BM08P2S8	0.8%	2 : 8	0.14
BM08P4S6		4 : 6	0.15
BM08P5S5		5 : 5	0.13
BM08P6S4		6 : 4	0.13
BM08P8S2	8 : 2	0.12	
BM10P2S8	1.0%	2 : 8	0.12
BM10P4S6		4 : 6	0.13
BM10P5S5		5 : 5	0.14
BM10P6S4		6 : 4	0.13
BM10P8S2	8 : 2	0.13	

종이와 톱밥의 배합비별 부착강도와 종이와 톱밥의 혼입량에 대한 부착강도 결과이며, 종이와 톱밥의 혼입량이 높아질수록 부착강도 결과는 차이가 더 커지는 것을 알 수 있다.

3.4. 길이 변화 시험

길이변화율의 표현 방법 “%”의 확인결과 0.3~0.5%로 나타났다.

종이와 톱밥을 섞지 않은 시험체(LMNOR)의 경우 0.4%이고, 0.2% 혼입의 평균은 0.4%(LMNOR 시험체 대비 99.2%), 0.4% 혼입의 평균은 0.43%(LMNOR 시험체 대비 105.7%), 0.6% 혼입의 평균은 0.42%(LMNOR 시험체 대비 104.0%), 0.8% 혼입의 평균은 0.42%(LMNOR 시험체 대비 103.3%), 1.0% 혼입의 평균은 0.38%(LMNOR 시험체 대비 92.7%)로 측정되었다.

Table 5. Test result of changed length

Test piece	Mixing proportion	Proportion Paper : sawdust	Test Result (%)
LMNOR	-	-	0.4
LM02P2S8	0.2%	2 : 8	0.4
LM02P4S6		4 : 6	0.3
LM02P5S5		5 : 5	0.4
LM02P6S4		6 : 4	0.5
LM02P8S2		8 : 2	0.5
LM04P2S8	0.4%	2 : 8	0.5
LM04P4S6		4 : 6	0.5
LM04P5S5		5 : 5	0.4
LM04P6S4		6 : 4	0.4
LM04P8S2		8 : 2	0.3
LM06P2S8	0.6%	2 : 8	0.5
LM06P4S6		4 : 6	0.4
LM06P5S5		5 : 5	0.5
LM06P6S4		6 : 4	0.4
LM06P8S2		8 : 2	0.3
LM08P2S8	0.8%	2 : 8	0.4
LM08P4S6		4 : 6	0.5
LM08P5S5		5 : 5	0.3
LM08P6S4		6 : 4	0.4
LM08P8S2		8 : 2	0.5
LM10P2S8	1.0%	2 : 8	0.5
LM10P4S6		4 : 6	0.3
LM10P5S5		5 : 5	0.4
LM10P6S4		6 : 4	0.4
LM10P8S2		8 : 2	0.3

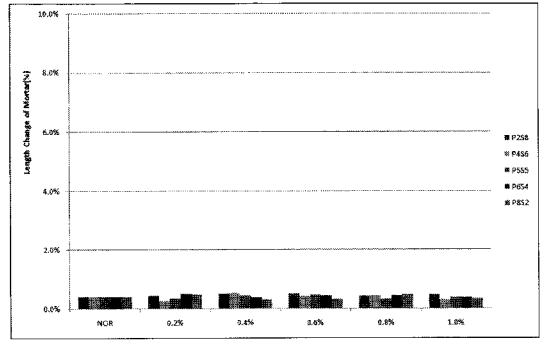


Fig. 3. Changed length result of percentage mixed with paper and sawdust.

4. 분석

혼입량의 비율 중 종이와 톱밥의 혼합비율을 보면 종이의 비율이 높을수록 강도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 모르타르 양생시 필요한 수분을 종이와 톱밥이 흡수하여 강도발현에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한, 종이는 톱밥보다 상대적으로 많은 양의 수분을 흡수하는 것으로 나타났다. 압축강도 결과를 보게 되면 그 수치차이가 높은 것을 알 수 있다. 이는 시멘트와 잔골재가 밀실하게 이루어져 강도를 발현하여야 하나 시멘트와 잔골재 사이에 종이와 톱밥이 혼입되어 상대적으로 낮은 수치의 강도를 나타내고 있다.

열 전도율 시험에서 종이와 톱밥을 섞지 않은 기준 시험체는 0.226W/m·k으로 나타났고 시험 결과 중 최저 열 전도율은 1.0%혼입에서 종이와 톱밥의 비율이 8 : 2에서 0.190W/m·k으로 나타났다. 이는 단열 모르타르 품질 제 3종 0.149W/m·k에 미치지 못 하는 것으로 나타났다. 종이와 톱밥의 혼입비율이 톱밥보다 종이비율이 높았을 때 열 전도율이 낮게 나타났다. 이는 종이가 열 전도율 시험시 톱밥 보다 상대적으로 긍정적 영향을 미치는 것으로 판단된다.

0.6% 혼합비를 제외하고는 종이와 톱밥의 혼입 비율이 톱밥보다 종이비율이 높았을 때 열 전도율이 낮게 나타났다. 이는 종이가 열 전도율 시험시 톱밥 보다 상대적으로 긍정적 영향을 미치는 것으로 판단된다.

종이와 톱밥의 비율로 보았을 때 본 시험내에서의 최저단열성능 비율은 종이 4 : 톱밥 6 또는 종이 5 : 톱밥 5의 경우에서 찾을 수 있었다. 이는 종이와 톱밥 혼입량 증가는 단열능력이 높은 것으로 판단된다.

본 시험 결과 0.12~0.15N/mm²의 강도 범위로 나타났다. 이는 단열 모르타르 품질 기준인 0.10N/mm² 이상을 선회하는 강도로 안정적인 결과를 보여주고 있어 종이와 톱밥의 혼입률이 1.0% 초과일 때 부착 강도 기준을 상회할 것으로 분석된다.

전체적으로 길이 변화율은 기준길이(160mm)의 0.3~0.5%의 범위에 분포하고 있으며, 0.4% 혼입시 종이와 톱밥의 비율 4:6 등에서 단열 모르타르의 품질 중 길이 변화율 0.5%를 0.16%로 다소 초과 하였으나, 그 수치는 낮은 퍼센트를 보이고 있어 큰 문제는 없는 것으로 분석되었다.

본 시험 역시 길이 변화율 기준인 0.5% 이하로써 1개 시험체를 제외한 시험체에서 기준에 적합한 결과를 얻었다.

그러나 위 시험 결과 일관성이 안보이며, 돌발적인 변화율을 보이고 있다. 이는 모르타르 자체의 길이 변화율도 고려할 수 있지만, 종이와 톱밥이 혼입되어 있는 상태에서 흡수하고 있던 수분량의 변화 등으로 변화율이 심한 것으로 판단된다. 왜냐하면 최초 플로우 테스트시 종이와 톱밥의 혼입율에 따라 혼합수의 혼합량 역시 크게 변화하였기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 종이와 톱밥을 혼입한 단열 모르타르 재료 개발로써, 압축 강도, 열 전도율, 부착 강도, 길이 변화 등을 살펴보았으며, 이상의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

압축 강도 시험은 하중을 직접 받는 콘크리트가 아닌 마감공사에서 사용하는 미장용 모르타르를 대체하는 것으로 하였기 때문에 높은 압축 강도의 모르타르를 요한다는 것은 다소 무리가 있다. 물론 혼입률이 높아질수록 압축 강도 역시 낮아짐은 주지의 사실이다. 이를 해결기 위해서는 본 연구과정에 기타 혼화제를 배합하여 시험체를 성형하면 가능할 것으로 판단된다.

열 전도율 시험은 종이와 톱밥의 혼입량이 많을수록 열 전도율 결과는 낮게 나와 열 전도성이 높아짐을 알 수 있었다. 현 시험의 최대 혼입율인 1.0%는 단열 모르타르의 품질 제 3종에 미치지 못하였으므로 종이와 톱밥비의 혼입율을 2.0% 이상시 모르타르의 품질 제 3종에 적합할 것으로 판단된다. 종이와 톱밥의 최적 비율은 종이의 비율보다 톱밥의 비율이 높은 경우 또는 종이와 톱밥의 동

일비율로 한다. 종이가 톱밥보다 비율이 높을수록 열 전도성이 좋을 것이라 예상을 하였다. 왜냐하면 열 전도율 시험체에 분쇄 종이가 고루 분포하여 열을 척적할 것으로 생각했기 때문이다. 그러나 결과는 예상된 결과와 상이하게 나타났다. 이는 톱밥이 종이보다 열 축적 능력이 높은 것으로 판단된다.

종이와 톱밥을 1% 혼입한 시험체의 평균 열 전도율은 기준 시험체 대비 84.07%로 측정되었다. 위 결과로 보아 기준 시험체 대비 약 16%의 열 전도율이 향상되었음을 확인하였다.

종이와 톱밥의 배합비는 혼합비 0.6, 0.8, 10%의 부착강도가 최저인 0.12~0.13N/mm²으로써 부착강도가 필요한 철근의 앵커력 증대가 필요한 개소 구조부위에 대해서는 적용이 곤란한 것으로 사료된다.

단열모르타르의 성능증대는 종이와 톱밥의 비율이 4:6, 5:5 비율로 제작하는 것이 권장되는 것으로 사료된다.

시험체의 제작과정에서의 경제적 이익이 다소 낮음은 시공시의 경제적 효과만을 고려한 것이다. 그러나 일반 모르타르 시공후 단열성능보다 종이와 톱밥을 혼입한 모르타르에서 단열성능이 높게 나타났음이 증명되었고 유효자원의 효율적 사용 및 환경 친화적 자원이용 면에서 확인시 충분한 경제성이 있다고 판단된다.

감사의 글 : 이 논문은 환경부의 환경기술 인력 양성 지원사업으로 지원되었습니다.

참고문헌

- 1) 에너지관리공단, <http://www.kemco.or.kr> (정보마당-에너지통계-에너지통계보기).
- 2) 고려대학교, “나노기술을 이용한 에너지절약형 환경친화 건축용 단열재개발”, 교육과학기술부, pp. 14, 2008. 05.
- 3) 한국에너지기술연구원, “환경친화형 복합단열벽체 개발”, 산업자원부, 2003. 05.
- 4) Lea, F.M., “The Chemistry of Cement and Concrete”, Edward Arnold, London, pp. 158, 1970.
- 5) 윤재환, “포틀랜드 시멘트 및 콘크리트”, 세진사, 1993.
- 6) 대한주택공사, “외단열공법실용성평가”, 대한주택공사, 1988. 06.