

폐톱밥 혼입 콘크리트의 구조거동에 관한 실험적 연구

홍승렬* · 손기상†

*대림산업 · 서울산업대학교 안전공학과
(2005. 2. 5. 접수 / 2005. 7. 25. 채택)

Structural Behavior of Sawdust-Mixing Concrete

Seung Ryul HONG* · Ki Sang Son†

*Daelim Industry, Co.

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

(Received February 5, 2005 / Accepted July 25, 2005)

Abstract : Behavior of saw-dust concrete has not studied because many people have thought that saw-dust concrete cannot be applicable for structural member, up to now. This study is to find out how much the concrete can be structurally applied.

5mm grid sieve was used to select satisfactory sawdust for better concrete quality. Test molds, size of $\varnothing 10 \times 20$ cm long were made of normal without sawdust, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0%, for making concrete strength of 180kg, 210kg, 240kg, 270kg which they are normally used in practice presently. A various strengths tests such as compressive splitting tensile, flexible strength behavior of structural member named beam using size of $20 \times 30 \times 120$ cm have been done for the structural aspects.

Tensile strength shows that it can be more affected than higher strength of it.

Key Words : saw-dust concrete, compressive strength, splitting test, flexible test behavior, structural member

1. 서 론

1.1. 연구 목적 및 필요성

현재 흔히 사용되고 있는 건축재료인 콘크리트 재료 자원이 고갈되고 있어 대체 재료로서 폐목을 적용가능함을 알아보려 한다.

연간 폐목재 발생량은 1000 만 m^3 로 추정하고 있고 우리나라 1년 총 목재 사용량의 40%수준인 것으로 조사되고 있다. 이처럼 폐목재의 활용이 절실한 시기에 폐톱밥을 이용하여 콘크리트에 적용가능성에 대해 그 특성을 알아보고자 한다¹⁻⁵⁾.

그동안 톱밥을 콘크리트에 적용하는 것은 강도적 측면에서 현 구조물에 적용할 수 없을 것으로 판단되어지기 때문에 다른 폐자재를 사용한 연구는 많았으나 톱밥을 혼입한 콘크리트는 거의 없었다.

이에 재활용을 이용한다는 측면과 아직까지 톱밥

을 콘크리트에 적용한 연구가 없었다는 측면에서 본 논문이 의의가 클 것으로 사료된다.

본 연구에서는 5mm체에 거른 폐톱밥만을 콘크리트에 적용하여 콘크리트의 강도특성, 구조체의 강도 특성 톱밥과 콘크리트의 관계 또한 건축물에 적용가능성과 톱밥콘크리트의 특성에 대한 연구를 제시하여 앞으로 기본자료를 제공하는데 연구의 목적을 둔다.

본 연구에서는 폐톱밥을 콘크리트에 혼입하므로써 콘크리트적 특성과 실제 구조물이나 비구조물에 활용가능함과 앞으로 기본자료로 활용하기 위한 다음과 같은 단계별 실험 및 분석을 하였다.

1.2. 연구방법 및 범위

콘크리트강도는 가장 많이 사용하는 180 kg/cm², 210 kg/cm², 240 kg/cm², 270 kg/cm²의 각 강도별로 폐톱밥의 양에 따라 Normal, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0%로 총 13가지 비율로 나누어 공시체를 제작하였다. 이 배합이

* To whom correspondence should be addressed.
ksson@snut.ac.kr

나온 배경은 폐톱밥을 이용한 선행 실험을 해본 결과 강도적 측면을 기준으로, 0%~0.2%까지 압축강도값이 급격히 하락하였기에 그 부분을 좀 더 세분화 시켰으며, 2.0%이상의 혼합비율은 사실상 강도값으로서 의미가 없었으며 배합에 있어서도 어려움이 있기에 제외시켰다.

우선 콘크리트의 기본적 특성인 압축강도 비교 분석이다. 실험은 지름 10cm에 높이 20cm인 공시체를 만들어 압축강도(KS F2405)와 활열인장강도(KS F2423), 휨강도(KS F 2408)시험을 하였고, 각 강도별, 비율별로 나누어 실험하였다. 3일후 탈영하여 28일 동안 21±2℃를 유지하였고 28일 강도만을 측정하였다. 톱밥 배율이 높아질수록 단위중량 또한 작아짐을 보였기에 단위중량도 각각 체크하였다.

그리고 콘크리트의 구조부재의 실험이다. 철근 SD40 D13을 주근 6개, SD40 D10으로 11개의 띠근을 만들어 20cm×30cm×120cm의 공시체를 Normal과 0.1%, 0.5%, 1.0%의 폐톱밥을 혼입한 구조부재 4개를 만들어 보형태로 휨강도 실험을 하였다⁴⁾¹¹⁾.

본 연구에서는 콘크리트에 톱밥을 첨가하여 건축재료로서 요구되는 주요특성 및 사용재료에 대한 이론을 고찰하고, 최적 배합의 범위의 제시 또한 향후 톱밥 콘크리트를 적극 활용하기 위한 각 형태실험별 우수한 톱밥콘크리트를 제조하여 앞으로의 활용방안으로 분석·검토하는 것으로 한다.

2. 실험

2.1. 실험계획

본 실험은 폐톱밥의 양을 비율별로 혼입한 공시체를 제작하여 폐톱밥 혼입콘크리트의 성상변화를 규명하는데 그 목적을 두고 있으며, 이에 따라 압축강도(KS F 2405)시험, 인장강도(KS F2423)시험, 휨강도(KS F2406)시험을 실시하여 그 측정값을 폐톱밥이 혼입되지 않은 일반 콘크리트의 측정값과 비교, 분석하는데 있다.

폐톱밥 입자는 제재소에서 목재를 가공하고 남은 폐톱밥을 사용했고 폐톱밥의 주요 목재 비율로는 라왕 50%, 미송 30%, 그 밖에 참나무, 느티나무등이 20%정도가 혼합되었으며, 5mm의 체를 사용하여 5mm이하의 폐톱밥만을 사용하였다.

철근은 주근 SD40 D13, 띠근 SD40 D10을 사용하였으며 항복점은 D10, D13 4000kg/cm²이었다.

콘크리트란 여러 재료의 혼합으로 만들어진 것으로 굳지 않은 콘크리트의 경우 워커빌리티, 공기량, 단위중량, 골재의 분리 등과 경화된 콘크리트의 경우 강도, 내구성, 수밀성 등은 시멘트, 모래, 자갈, 물의 배합비율이 달라짐에 따라 크게 변화한다. 그러므로 콘크리트 배합을 하기 전에는 반드시 배합설계를 하여야 한다.

폐톱밥이 혼입된 콘크리트의 최적의 배합을 위해서 배합설계는 D레미콘 회사의 배합표를 이용하여 아래와 같은 표로 배합하는 것으로 하였고, 잔골재와 굵은골재 및 혼화제 또한 실제 D레미콘 회사에서 사용하는 것을 사용하므로써 최소한의 오차도 줄이려고 노력하였다. 배합은 Table 1, 2와 같다.

공시체 제작은 KS F 2425 규정에 따라 제작하였으며, 공시체의 제작 및 양생 중의 온도는 특수한 규정이 없는 한 성형 후 20±3℃의 습윤상태에서 재령 28일까지 양생 후 강도시험을 행한다.

압축강도 인장강도 공시체는 “지름의 2배 높이로 한다”라는 규정에 따라 Ø10cm×20cm의 원주형으로 만들고 3개 이상의 공시체를 제작함을 원칙으로 한다.

휨강도 시험의 공시체 단면은 사각형으로 하며 15cm×15cm×55cm 공시체로 만들고, 열전도를 공시체 또한 사각형으로 30cm×30cm×5cm로 만들어 시험을 행한다.

배합은 강제식 믹서기를 이용하며, 압축시험기는 KS B 5533의 시험기 등급에 규정하는 1등급 이상의 것으로 한다. Fig 1, 2, 3에서 공시체 및 시험기를 제시하고 있다.

Table 1. mixing proportion of concrete

강도-슬럼프	W/C	C	W	G	S	ad.	total
180-15	64.7	284	184	921	900	1.23	2291
210-15	57.2	318	182	938	861	1.59	2297
240-15	52.3	344	180	942	838	1.72	2302
270-15	48.2	371	179	947	811	1.86	2308

(unit : kg)

Table 2. mixing proportion of sawdust

	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
180	1.14	2.29	4.58	9.16	13.74	18.32	22.91	27.49	32.07	36.65	41.23	45.82
210	1.14	2.29	4.59	9.18	13.78	18.37	22.97	27.56	32.15	36.75	41.34	45.94
240	1.15	2.30	4.60	9.20	13.81	18.41	23.02	27.62	32.22	36.83	41.43	46.04
270	1.15	2.30	4.61	9.23	13.84	18.46	23.08	27.69	32.31	36.92	41.54	46.16

(unit : kg)

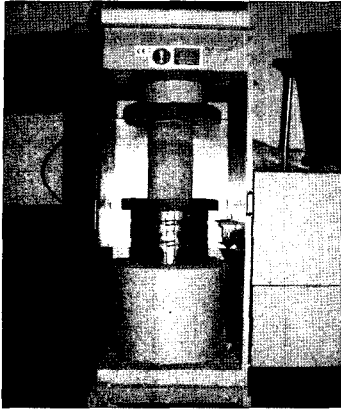


Fig. 1. Compressive strength test machine.



Fig. 2. Water curing of molds.

2.2. 실험방법

(1) 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}$ 의 공시체를 3개씩 재령 28일간 $20 \pm 3^\circ \text{C}$ 로 수중 양생한 직후 규정에 맞는 압축강도 시험기로 시험하였다. 강도 시험기는 충격을 주지 않도록 똑같은 속도로 하중을 가하며, 하중을 가하는 속도는 압축응력 증가율이 매초 $0.6 \pm 0.4 \text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)$ 가 되도록 한다. 공시체가 파괴될 때까지 시험기가 나타내는 최대 하중을 유효숫자 2자리까지 읽도록 한다.

압축강도의 식은

$$f_c(\text{압축강도}) = \frac{P}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

f_c : 압축강도 (kg/cm^2)

d : 공시체 지름(cm)

P : 최대하중(kg)과 같다.

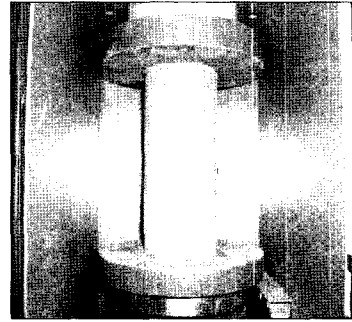
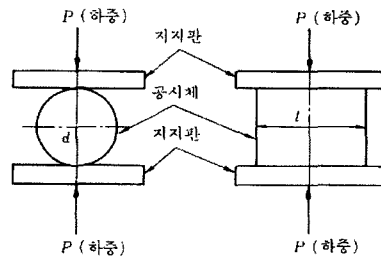


Fig. 3. Compressive strength test.

(2) 활열인장강도 시험



콘크리트의 인장강도 시험은 KS F 2423인 활열인장강도 시험으로서 압축강도 시험과 동일한 방

법으로 시험하였다.

공시체는 시험기 지지판 위에 편심가지 않도록 그림과 같이 설치한다. 지지판과 공시체 접촉선 어디에서도 틈새가 없도록 하며, 지지판은 하중을 가하는 동안 평행을 유지하도록 한다. 하중속도는 압축강도와 같은 방법으로 한다.

인장강도의 식은

$$f_{sp}(\text{인장강도}) = \frac{2P}{\pi dl}$$

f_{sp} : 인장강도(kg/cm^2)

d : 공시체 지름(cm)

l : 공시체 길이(cm)

P : 최대하중(kg)과 같다.

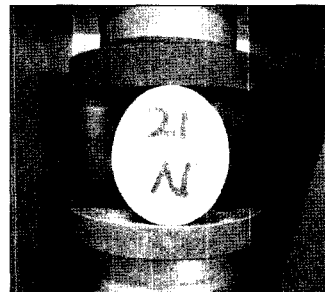
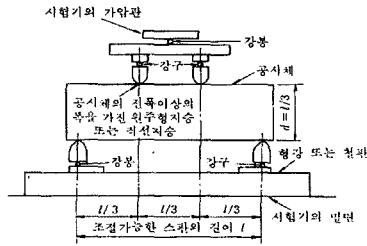


Fig. 4. splitting tensile strength test.

(3) 휨강도 시험



콘크리트의 휨강도 시험은 KS F 2408 규정에 따라 15cm×15cm × 55cm 의

공시체를 재령 28일간 20±3℃로 양생한 직후 규정에 맞는 강도 시험기로 시험하였다. 시험방법은 그림과 같은 “3등분점 재하법”에 따라 시험하며 재하 장치의 접촉면과 공시체 면과의 사이 어디에도 틈새가 없도록 한다. 하중속도는 압축강도와 같은 방법으로 한다. Fig 5와 같다.

휨강도의 식은

$$f_b(\text{휨강도}) = \frac{Pl}{bh^2}$$

- f_b : 휨강도(kg/cm²)
- b : 파괴단면 나비(cm)
- h : 파괴단면 높이(cm)
- l : 지간(cm)
- P : 최대하중(kg)과 같다.

(4) 구조부재 휨강도시험

톱밥혼입 구조부재 휨강도 측정은 보 실험 형태로 실험하였으며 이를 위하여 철근 SD40 D13을 주근 6개, SD40 D10으로 11개의 띠근을 만들어 20cm×30cm×120cm의 공시체를 제작하였으며, 철근 배근도는 아래 표와 같다. (철근 인장값은 4000kg/cm²)

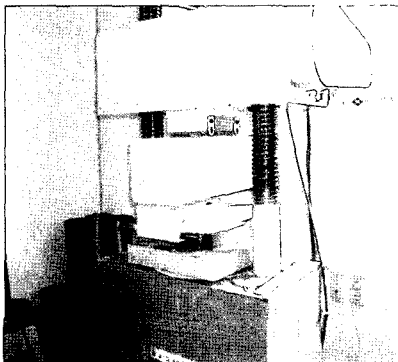


Fig. 5. Flexural strength test.

타설 2일후 탈형하여 그늘진 곳에서 28일간 습윤 양생하였다. 휨강도 측정을 위하여 KS F 2408 규정에 따라 “3등분점 재하법”에 의하여 하중은 지간의 중앙에 작용하게 하고 재하면과는 수직이 되게 하여 편심이 생기지 않도록 하였고 매초 0.06±0.04N/mm²의 일정한 속도로 가압하였다. 또한 변형율을 측정을 위하여 부재 중심에 스트레인 게이지(제조사 : Tokyo Sokki)를 2축 방향으로 부착하고 Statics Data Logger(모델명 : DTS-602, 제조사 Tokyo Sokki)에 연결하여 X, Y축의 변형율을 측정하였다. Fig 6, 7, 8에서 상세히 제시하고 있다.

$$f_b(\text{휨강도}) = \frac{Pl}{bh^2}$$

- f_b : 휨강도(kg/cm²)
- b : 파괴단면 나비(cm)
- h : 파괴단면 높이(cm)
- l : 지간(cm)
- P : 최대하중(kg)과 같다.

3. 실험결과

3.1. 톱밥혼입 콘크리트의 슬럼프 결과

톱밥이 많이 혼합 될수록 슬럼프값은 낮아지고

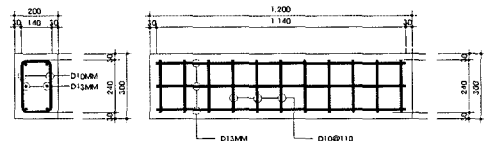


Fig. 6. Rebar-installing diagram.

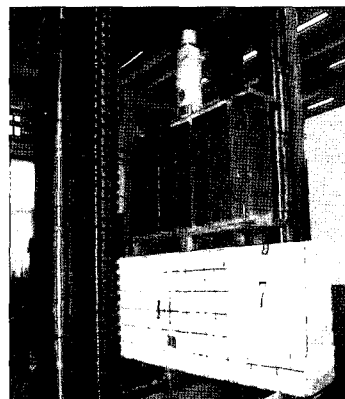


Fig. 7. Flexural strength test of structural member.

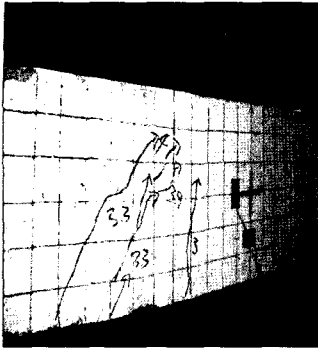


Fig. 8. Cracking at flexural test of structural member beam.

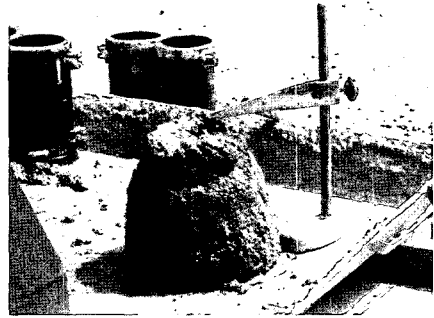


Fig. 10. Sump test.

있다(Table 3) 거의 정비례에 가까운 슬럼프 감소율을 보이고 있다. Table 3과 같다.

1%에서부터 수분이 많이 흡수되기 시작하여 1.5%이상에서 비빔에 큰 영향을 주고 폐톱밥 배합율이 2%넘어가면 비빔자체가 불가능하게 되었다. 배합비를 2%까지로 한 이유가 여기에 있다.

Table 3. Test result of slump

강도 배합율	180kg/cm ²	210kg/cm ²	240kg/cm ²	270kg/cm ²
N	15	16	16	16.5
0.05%	15	15.5	16	16
0.1%	15	16	16	15
0.2%	15	15	15	14
0.4%	16	14	15	14
0.6%	15	14	15	12
0.8%	14	13.5	12	12
1.0%	14	14	12	11
1.2%	15	12	11	10
1.4%	13	10	9	8
1.6%	12	8	8	8
1.8%	8	7	8	7
2.0%	6	5	5	6

(unit : cm)

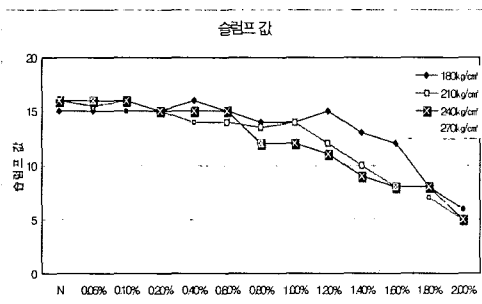


Fig. 9. Graph for slump test result.

3.2. 톱밥혼입 콘크리트의 공시체 무게

1%까지는 공시체 무게 변화가 Normal의 강도변화가 거의 차이가 없음을 보이고 있다. Table 4와 같다.

3.3. 톱밥혼입 콘크리트의 압축강도결과

폐톱밥이 혼입되지 않은 압축강도는 설계기준

Table 4. Wight of test mold.

강도 배합율	180kg/cm ²	210kg/cm ²	240kg/cm ²	270kg/cm ²
N	2.7	2.75	2.85	2.9
0.05%	2.7	2.75	2.85	2.85
0.1%	2.65	2.7	2.8	2.9
0.2%	2.6	2.6	2.7	2.75
0.4%	2.6	2.65	2.6	2.65
0.6%	2.55	2.6	2.7	2.55
0.8%	2.5	2.6	2.5	2.5
1.0%	2.4	2.55	2.6	2.55
1.2%	2.4	2.5	2.5	2.4
1.4%	2.35	2.4	2.35	2.45
1.6%	2.3	2.4	2.3	2.35
1.8%	2.2	2.3	2.25	2.35
2.0%	2.35	2.4	2.3	2.4

(unit : kg)

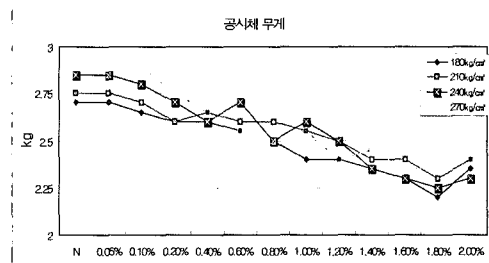


Fig. 11. Graph for mold weight.

강도 180~270kg/cm²에 따라 실험값도 따라서 증가되었지만 폐톱밥이 혼입된 경우는 대체로 같은 증가를 보이는 것으로 나타났다. 이것은 폐톱밥의 큰 흡수율에 기인한 강도상의 오차로 사료된다.

3.4. 톱밥혼입 콘크리트의 할열인장강도결과

할열인장강도 또한 Normal 콘크리트의 압축강도 180~270kg/cm² 순서로 유사한 증가를 보였고 폐톱밥 배합률이 커짐에 따라 감소되는 것으로 흐름을 보였다. Table 6과 같다.

Table 5. Compressive strength result

강도 배합률 \ 강도	180kg/cm ²	210kg/cm ²	240kg/cm ²	270kg/cm ²
Normal	270.2	286.7	305.6	347.9
0.05%	261.1	259.1	269.9	336.4
0.1%	204.1	206.1	217.3	331.1
0.2%	205.7	202.3	207.5	271.1
0.4%	136	168.2	181.5	275
0.6%	109	165	159.4	208.1
0.8%	102.2	135.4	142.9	209.3
1.0%	89.6	101.9	122.8	187.2
1.2%	98.3	92.7	110.9	184.7
1.4%	95.3	52.5	63.1	137.2
1.6%	105.1	169.7	117.4	76.3
1.8%	167.9	110.5	81.3	117.8
2.0%	131.8	108.1	98.9	112.3

(unit : kg/cm²)

Table 6. Splitting tensile strength result

강도 배합률 \ 강도	180kg/cm ²	210kg/cm ²	240kg/cm ²	270kg/cm ²
Normal	23.9	26.5	26.1	27.4
0.05%	22.7	26.9	25	26.7
0.1%	21.7	20.6	20.9	26.4
0.2%	15.9	20.6	18.7	25.1
0.4%	15.1	17	20.9	25.8
0.6%	12.5	18.7	17.5	19.9
0.8%	13.4	16.1	16.4	21.4
1.0%	10.1	10.4	15.6	19.7
1.2%	11.7	10	12.6	18.6
1.4%	9.5	5.9	8.8	14.6
1.6%	7.5	17.3	14.5	9.9
1.8%	15.2	12.7	11	13.8
2.0%	14.3	13.2	8.1	15.9

(unit : kg/cm²)

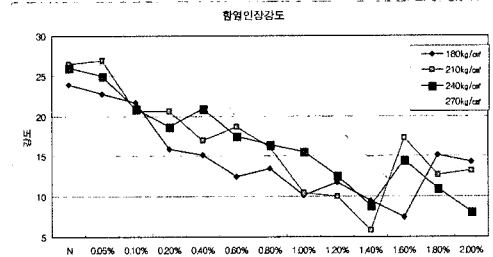


Fig. 12. Graph for splitting tensile strength.

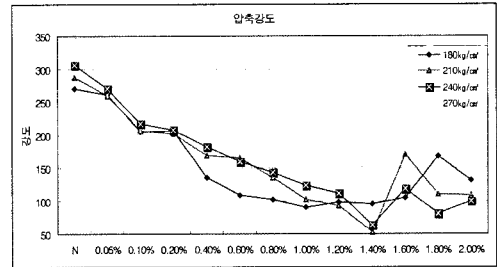


Fig. 13. Graph for compressive strength.

Table 7. Flexural strength result

강도 배합률 \ 강도	180kg/cm ²	210kg/cm ²	240kg/cm ²	270kg/cm ²
Normal	21.9	22.4	23.1	23.6
0.05%	21.1	19.5	20.3	24.4
0.1%	21.1	18.7	20.3	25.7
0.2%	17.1	15.4	17.9	22.8
0.4%	17.1	15.4	18.2	23.6
0.6%	14.6	16.2	17.1	16.7
0.8%	14.6	13	13	18.7
1.0%	12.2	10.2	13	17.9
1.2%	14.6	8.1	13	13.8
1.4%	11.7	10.5	8.1	16.2
1.6%	10.5	18.7	11.4	8.1
1.8%	18.7	9.7	8.1	11.4
2.0%	11.4	9.7	8.9	9.7

(unit : kg/cm²)

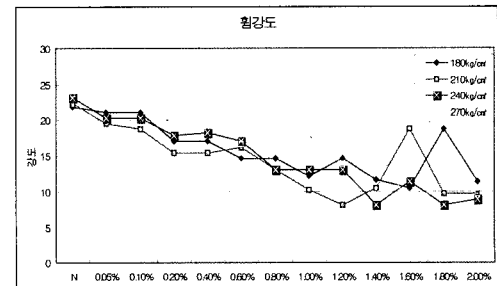


Fig. 14. Graph for flexural strength.

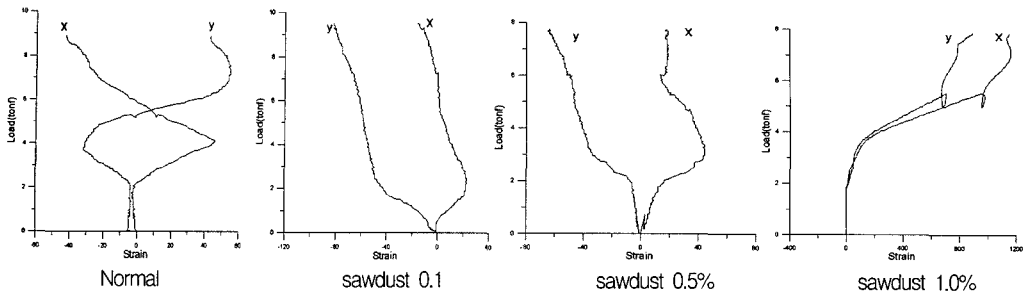


Fig. 15. Graph for strain measurement.

3.5. 톱밥혼입 콘크리트의 휨강도결과

Normal의 경우 21, 9, 22.4, 23.1, 23.6kg/cm² 유사한 증가를 보이고 있다. Table 7과 같다.

3.6. 톱밥혼입 구조부재의 휨강도결과

폐톱밥 1.0%까지 배합시의 구조부재 보로서의 휨강도는 혼입에 따른 영향이 거의 미치지 않고 있음을 보여주고 있다.

Table 8. Flexural strength test result of structural member

폐톱밥	Normal	0.1%	0.5%	1.0%
Max Load(tonf)	8.91	9.54	7.74	7.86
F(kg/cm ²)	74.25	79.5	64.5	65.5

4. 분석 및 고찰

폐 톱밥을 혼입한 콘크리트의 실험결과를 통해 폐톱밥 혼입량이 높아 질수록 슬럼프치는 대체적으로 감소하는 경향을 보였으며 Normal~1.0%까지는 워커빌리티에 큰 영향을 주지 않음을 보였으며, 단위 용적중량 또한 혼입량이 많아질수록 작아짐을 보였다. 이 감소량의 적정 사용수준을 결정하는 것이 실무적용에 필수라 하겠다.

압축강도에서 Normal~0.1%까지 강도값이 급격히 떨어짐을 보였으며 0.4%~1.4%까지는 강도값이 완만히 떨어짐을 볼 수 있으므로, Normal~0.2%까지는 구조물에 적용함에 있어 문제가 없음을 보여주고 0.4%~1.4%까지는 비구조물에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

1.6%~2.0%은 목재의 특성상 물을 많이 흡수하여 콘크리트 비빔에 있어 어려움이 있었으며 그 결과로 강도값이 높게 나타난 것으로 보였으며 불규칙적면을 볼 수 있었다.

180kg/cm², 210kg/cm², 240kg/cm² 강도값은 혼입

량에 따라 비슷한 강도값을 보였으며 270kg/cm² 강도값은 앞의 강도값들 보다는 대체적으로 큰 강도값을 나타내었다.

인장강도값은 대체적으로 압축강도와 비슷한 경향을 보였으나, 단지 폐톱밥의 혼입량에 따른 급격한 강도하락은 없었으며 270kg/cm²은 압축 강도와 마찬가지로 높은 인장강도 값을 나타내었다. 이것은 실무 구조적용 가능성을 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

휨강도값 역시 압축강도와 비슷한 경향을 보였으며 270kg/cm²은 다른 강도값보다 월등히 큰 강도값을 보였으며, 강도 실험시 일반 콘크리트보다 폐톱밥의 혼입률이 높아질수록 순간 쪼개짐이 많이 나타났다.

구조부재의 휨강도값은 폐톱밥의 혼입비율에 비례하지 않고 전체적으로 비슷한 강도값을 보였으며, 하중 2tonf에서부터 게이지 값이 변화 하였으며 x축은 양의 방향을 y축은 음의 방향을 나타내었다. 게이지 값 역시 폐톱밥 혼입비율에 따른 큰 변화가 없음을 보여준다.

변형률도 폐톱밥 함량에 따라 큰 변화가 없기 때문에 구조물 적용시 장기 사용시에 문제점을 극복할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 폐톱밥 콘크리트를 이용하여 일반 콘크리트 보다 더 나은 품질의 성능을 찾는 것 보다는 폐자재를 재활용 한다는 차원에 더 중점을 두었고 더불어 일반 콘크리트보다 더 뛰어난 성질을 찾아내기 위한 여러 가지 실험을 하였으며, 더 나아가서 목재와 콘크리트와의 관계에 있어 앞으로 기초자료로 활용함을 그 의의에 두고 본 연구에 임했다. 위의 같은 여러 가지의 실험과 분석을 통하

여 다음과 같은 최종 결론에 도달하였다.

- 1) 폐톱밥의 혼입비율에 따라 강도값이 선형적으로(linearly) 나타난다.
 - 2) 저강도의 콘크리트보다는 고강도의 콘크리트가 폐톱밥의 영향으로 인한 강도값의 영향을 덜 받는다.
 - 3) 폐톱밥 혼입에 따른 인장강도값이 압축강도값보다 더 우수하므로 인장 하중을 받는 부재요소로 적용하는 것이 권장된다.
 - 4) 구조부재의 경우 인장력은 콘크리트의 강도값이나 폐톱밥의 영향보다는 철근의 영향이 더 크게 받는 것으로 나타나 적절한 철근 배근으로 폐톱밥 RC부재의 유용성을 높일 수 있다.
- 앞으로 기둥이나 보 크기로 좀 더 진전된 구조거동 실험이 다양하게 이루어져 구조물 실제 적용 문제를 제시하는 것이 필요하다 하겠다.

참고문헌

- 1) 李成宰, “高熱을 받은 鐵筋콘크리트 短柱의 耐力에 特性에 관한 研究”, 東亞大 대학원, 1987.
- 2) 金靜峰, “철근콘크리트 기둥의 예비설계에 관한 연구”, 蔚山大 대학원, 1987.
- 3) 최동호, “고열을 받은 인공경량골재콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구”, 健國大 대학원, 1994.
- 4) 정국환, “팽창점토골재를 사용한 경량골재콘크리트의 열전도율에 관한 실험적 연구”, 健國大 대학원, 1993
- 5) 李昌倫, “전단보강된 고강도경량콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구”, 금오공과대 대학원, 1998.
- 6) 李澤東, “유동화 경량골재콘크리트의 성상에 관한 연구”, 健國大 대학원, 1998.
- 7) 임진규, “경량단열기포콘크리트의 특성에 관한 실험적연구”, 健國大 대학원, 1997.
- 8) 구해식, “고온을 받는 콘크리트 압축강도 특성에 관한 실험적연구”, 慶南大 대학원, 2002.
- 9) 김민철, “톱밥을 이용한 중금속 이온의 제거에 관한연구”, 연세대 대학원, 2002.
- 10) 전옥영, “잔골재량변화에 따른 콘크리트 건조수축 특성에 관한 실험적연구”, 원광대 산업대학원, 1999.
- 11) 변중현, “시멘트 온도변화에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 청주대 산업대학원, 1999.
- 12) 김일생, “잔골재 종류에 따른 콘크리트재료 역학적 특징의 실험적 연구”, 원광대 산업대학원, 1999.
- 13) 산림청, “산림과 임업 동향에 관한 연차보고서”, 산림청, 2002.