

미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(I)^{*1}

-수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성-

김 병 로^{*2} · 공 석 우^{*2}

Development of Carbonization Technology and Application of Unutilized Wood Wastes(I)^{*1}

-Carbonization and It's Properties of Thinned Trees-

Byung-Ro Kim^{*2} · Seog-Woo Kong^{*2}

ABSTRACT

Objective of this research is to obtain fundamental data of carbonized wood wastes for soil condition, de-odorization, absorption of water, carrier for microbial activity, and purifying agent for water quality of river. The carbonization technique and the properties of carbonized wood wastes(thinned trees) are analyzed. Proximate analysis shows the thinned wood contains 0.22-0.73% ash, 77-80% volatile matter, and 10-14% fixed carbon. The charcoal yield decreases and the shrinkage rate increases as the carbonization temperature and time increase. The charcoal yields of *Larix leptolepis*, *Pinus rigida* and *Pinus densiflora* are high, whereas those of *Pinus koraiensis* and *Quercus variabilis* are low. The shrinkage rate by carbonization has same trend as water removal of wood. The specific gravity after the carbonization decreases about 50% comparing to green wood. The charcoal has 0.89-4.08% ash, 6.31-13.79% volatile matter, and 73.9-83.5% fixed carbon. As the carbonization temperature and time increase, pH of charcoal increases. When the carbonization temperature is 400 °C, pH is about 7.5. When the temperature is between 600 to 800 °C, pH is about 10 with small difference. The water-retention capacity is not affected by the carbonization temperature and time. The water-retention capacity within 24hr is about 2.5 - 3times of sample weight, and the equivalent moisture content becomes 2-10% after 24 hr.

Keywords : Wood waste, Thinned tree, Carbonization, Proximate analysis, pH, Water-retention capacity

*1 접수 1999년 2월 28일, Received February, 28, 1999.

본 연구는 1997년도 농림부 농림수산 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행된 내용의 일부임.

*2 충북대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 360-763.Korea

- 요약 -

목질폐잔재중 용이하게 입수할 수 있는 간벌재를 이용하여 그 기초적 제탄 기술을 검토하고, 이 탄화물을 이용하여 토양개량, 탈취, 수분 등의 흡착, 미생물활동 담체, 하천등 수질정화제 등으로 이용하는데 기초자료를 얻을 목적으로 탄화물의 성능을 조사하였다. 간벌재의 공업분석결과 회분 0.22~0.73%, 휘발분 77~80%, 고정탄소 약 10~14% 범위로 나타났다. 간벌재의 탄화 수율은 온도가 높아질수록, 탄화시간이 길수록 낮게 나타났고 수축률은 높게 나타났다. 수율은 낙엽송, 리기다소나무, 소나무가 높았고, 잣나무, 굴참나무가 낮았다. 탄화에 의한 수축률은 목재의 수분에 의한 수축률과 같은 경향을 나타냈다. 탄화후 비중은 각 수종에서 약 50% 감소했다. 탄화물의 공업분석은 회분 0.89~4.08%, 휘발분 6.31~13.79%, 고정탄소 73.9~83.5% 였다. 수소이온농도는 온도가 높아질수록, 탄화시간이 길수록 높게 나타났다. 탄화온도 400℃의 경우 약 pH 7.5를 나타냈고, 600℃와 800℃의 경우는 차이가 거의 없이 약 pH 10 정도를 나타냈다. 보수성은 본 실험의 탄화온도와 시간의 조건에 따른 영향 없이 비슷한 값을 나타냈다. 초기 24시간 내의 보수성은 시료무게의 약 2.5~3배 정도이고, 그후 평형함수율은 2~10%의 범위를 나타냈다.

1. 서 론

최근 임지, 건축현장, 물류거점 등지 또는 목재공업현장에서 발생하는 고재 또는 목질폐잔재는 못, 나무, 쇠조각 등이 부착되어 있거나 또는 다른 이물질과 혼합되어 있어 목질재료의 원료로 재 이용이 어려워 경쟁원리에 의해 쓰레기화 되고 있다. 쓰레기화되면 매립이나 소각 처분되지만 이것은 여러 환경문제를 야기 시킨다. 이와 같은 고목재나 목질폐잔재의 쓰레기화를 방지하고, 귀중한 목재자원을 재 이용하기 위한 기술개발이 중요한 과제로 대두되고 있다. 목질폐잔재의 다단계형 이용의 하나인 탄화처리는 폐잔재의 부피감소, 경량화와 함께 탄화물의 각종 성능 및 기능을 조사해 그것을 유용하게 이용할 수 있어 목재자원을 재이용하기 위한 중요한 기술개발에 하나라고 생각한다.

이러한 목질폐잔재를 리사이클 없이 매립이나 소각 처리하면 목재중의 탄소는 메탄이나 이산화탄소로 되지만, 탄화시키면 약 80%의 탄소가 고정되어 대기중의 이산화탄소의 농도를 억제하는 효과를 기대할 수도 있다. 따라서 목질폐잔재들을 매립이나 소각 처리하지 않고 탄화처리하면 이산화탄소의 증가에 의한 지구온난화 같은 환경문제의 해결에 일익을 담당할 수가 있을 것이고, 또한 탄화에 의해 생성되는 탄화물은 그만이 가지는 독특한 성질 때문에 유용하게 다방면으로 이용될 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 목질폐잔재중 용이하게 입수할 수 있는 간벌재를 이용해 그 기초적 제탄 기술 확립과, 이 탄화물을 이용하여 토양개량, 탈취, 수분 등의 흡착, 미생물활동담체, 하천등의 수질정화제 등으로 이용하는데 기초자료가 되는 탄화물의 몇 가지 성능을 조사하고, 성능과 탄화온도 및 시간과의 관계도 검토하였다.

Table 1. Descriptions of the sample trees

Species	DBH(cm)	Age	Height(m)
1 <i>Pinus koraiensis</i>	7.0	12	5.5
2 <i>Larix leptolepis</i>	10.0	19	8.0
3 <i>Pinus densiflora</i>	9.5	19	7.5
4 <i>Pinus rigida</i>	9.0	20	8.0
5 <i>Quercus aliena</i>	7.5	16	6.5
6 <i>Quercus variabilis</i>	12.5	27	11.5
7 <i>Robinia pseudoacacia</i>	11.0	11	7.0
8 <i>Betula platyphylla</i>	9.5	15	6.0
9 <i>Populus x tomentiglandulosa</i> T.Lee	10.0	14	6.0
10 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	8.5	15	7.5

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 실험에 사용한 재료는 목질폐잔재중 간벌재로서 침엽수로는 잣나무, 낙엽송, 소나무, 리기다소나무 활엽수로는 갈참나무, 굴참나무, 아까시나무, 자작나무, 은사시나무, 물푸레나무등 국내 10대 주요 조립수종을 충북대학교 연습림(충청북도 제원군 한수면)에서 간벌 채취하여 공업분석 및 실내 전기로에 의한 탄화실험을 위한 샘플을 제조하였다. 각 수종에 대한 수령, 수고, 흉고직경 등은 Table 1과 같다.

2.2 방법

2.2.1 목질폐잔재의 공업분석.

목질폐잔재에 대해 60mesh로 분쇄 후 공업분석(JIS M 8812 석탄시험법)에 의해 수분, 회분, 휘발분, 고정탄소를 분석하였다.

2.2.2 목질폐잔재의 탄화시험.

탄화처리에 대한 기본적 지식을 얻기 위해 실내 전기로(Thermolyne 4800)를 이용하여 실내에서 탄화시험을 하였다. 岸本(1994)은 목탄에는 백탄과 흑탄이 있는데 주요 이용 대상인 흑탄의 생산과정은 탄화가 끝나면 가마를 밀폐하여 소화하는데 이때 가마내의 온도는 부위에 따라 차이를 나타낸다고 한다. 즉 가마의 위 부분은 700~800℃라도 밑 부분은 400℃정도로 차이를 보임에 따라 흑탄의 성분, 성질은 부분적으로 차이를 보이므로, 목탄의 성질을 조사할 때 이 탄화상태의 차를 인지하지 못하면 분석결과의 해석에 어려움을 느낀다고 하였다. 이와 같이 흑탄은 탄화상태에 따라 성질에 차이를 보이기 때문에 흑탄의 성질을 비교할 때 동일조건을 비교하여야 한다고 생각한다. 따라서 본 연구에서는 동일조건을 얻기 위해 실내에서 전기로를 이용하여 탄화실험 및 목탄을 제조하였다. 목질폐잔재에 대해 1×1×1cm의 블록을 제작해 도가니에 넣고 뚜껑을 닫은 후 탄화 온도 400, 600 및 800℃의 각각의 온도에서 4, 6시간 탄화하여 온도와 시간에 따른 수율, 수축율, 비중을 측정하였다.

2.2.3 목질폐잔재 탄화물의 물성

2.2.3.1 공업분석

목질폐잔재 탄화물에 대해 60mesh로 분쇄 후 공

업분석(JIS M 8812 석탄시험법)에 의해 수분, 회분, 휘발분, 고정탄소를 분석하였다. 또한 비교를 위해 시판용 활성탄(Duksan Chemicals CO.,LTD)에 대해서도 분석하였다.

2.2.3.2 수소이온농도

수소이온농도 실험은 활성탄 시험법(JIS K 1470)에 따라 시료 1.0g(전건중량환산)을 200ml 삼각프라스크에 넣고 물 100ml를 첨가하여 5분간 끓인 후 상온까지 냉각하였다. 그 후 물을 첨가하여 100ml로 만든 후, 잘 저어서 수소이온농도를 측정하였다.

2.2.3.3 보수성

60mesh 목탄분 5g을 취해 비이커에서 충분히 물을 흡착시킨 후, 여과지를 이용해 수분을 분리하고 사레에 옮겨 항온항습실에서 10일간 중량감소를 측정하여 보수성을 조사하였다. 수분을 분리할 때 입도가 적으면 여과지에 목탄입자가 부착되어 최초로 측정량 양보다 적게되므로 후에 보정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 목질폐잔재의 공업분석

목질폐잔재의 공업분석을 Table 2에 나타냈다. 공업분석은 목질폐잔재들이 탄화물로서의 이용가능성을 분석하여 기본 자료를 얻는 방법이라 할 수 있다. Table 2를 보면 목질폐잔재의 회분양은 0.22~0.73% 범위로서 잣나무가 0.73%, 소나무, 갈참나무, 아까시나무, 자작나무, 물푸레나무가 0.4% 이상으로 비교적 높은 값을 나타냈다. 휘발분은 75~80% 범위로서 낙엽송과 아까시나무가 75% 정도로 비교적 낮은 함량을 나타냈고, 고정탄소는 약 10~14%의 범위로 낙엽송과 아까시나무가 14%정도로 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다. 본 실험에 사용한 수종들의 목탄으로의 이용가능성을 보면 휘발분이나 고정탄소에서 약간의 차이를 보이고 있으나 특별히 열악한 값을 나타내는 것이 없어 탄화물로의 이용에 문제가 되는 수종은 없는 것으로 사료된다. 수분량 범위는 8~10%이었다. 石橋등(1991)은 일본산 낙엽송의 공업분석에서 회분 0.31%, 휘발분 76.5%, 고정탄소 14.46%로 본 시험과 비슷한 결과를 보고하면서 원료의 공업분석은 탄화원료의 열 특성 등의 관리에 있어서 중요한 분석수단이라고 하였다.

Table 2. Proximate analysis of the sample trees

Species	MC(%)	Ash(%)	Volatile matter(%)	Fixed carbon(%)
1 <i>Pinus koraiensis</i>	7.82	0.73	80.89	10.58
2 <i>Larix leptolepis</i>	10.25	0.25	74.96	14.54
3 <i>Pinus densiflora</i>	9.88	0.49	78.31	11.42
4 <i>Pinus rigida</i>	9.63	0.22	77.62	12.53
5 <i>Quercus aliena</i>	8.54	0.46	78.27	12.73
6 <i>Quercus variabilis</i>	8.81	0.37	77.74	13.08
7 <i>Robinia pseudoacacia</i>	10.32	0.41	75.16	14.11
8 <i>Betula platyphylla</i>	8.40	0.47	79.95	11.18
9 <i>Populus x tomentiglandulosa</i> T.Lee	8.74	0.27	80.17	10.82
10 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	8.79	0.52	79.19	11.50

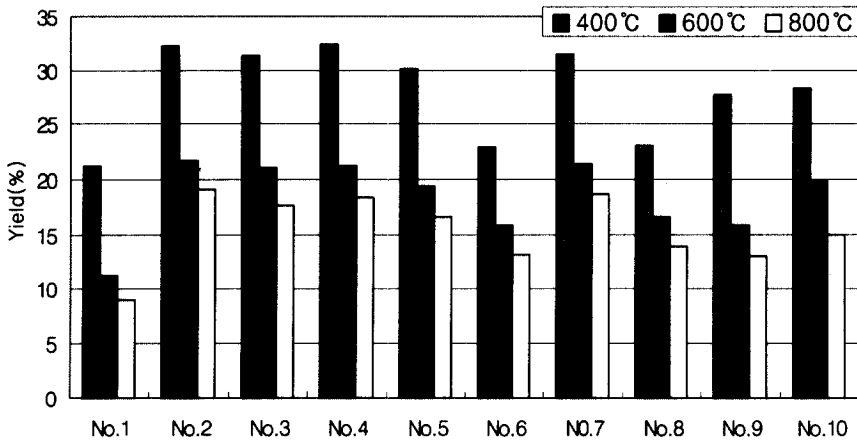


Fig. 1. The charcoal yields for the thinned trees with different treatment temperatures(Time 4 hours). (See table 1 for number.)

3.2 목질폐잔재의 탄화시험

Fig. 1,2는 400, 600 및 800℃의 탄화온도에서 탄화시간 4, 6시간의 탄화수율을 나타낸 것이다. 탄화수율은 Fig. 1,2에서 볼 수 있는 것과 같이 탄화온도가 높아질수록, 탄화시간이 길수록 수율이 낮은 것으로 나타났다. Humphreys 등(1974)의 연구에 의하면 탄화에 의한 수율은 목재의 주요 성분의 구성에 의해 영향받아 리그닌의 양이 많으면 수율도 높다고 하였다. 정 등(1985)의 침엽수 수종의 화학적 조성분 연구에서 리그닌 함량이 많게 나타난 낙엽송, 리기다 등이 본 실험에서도 높은 수율을 나타냈다. 수종간에

는 탄화시간 4시간에서는 리기다소나무가 가장 높은 수율을 나타냈으며 다음으로 낙엽송, 아까시나무, 적송, 갈참나무순으로 높은 수율을 보였고 잣나무, 굴참나무가 낮은 수율을 나타냈다. 6시간에서는 4시간과 거의 같은 패턴을 보였으나 적송이 4시간과는 달리 수율이 낮은 군에 속해 시간에 따른 가장 큰 차이를 나타냈다. Fig. 3은 탄화에 의한 수축률을 나타낸 것이다. 온도가 높을수록 높은 수축률을 보였으며, 3방향의 수축률은 목재가 수분의 탈착에 의한 수축률과 같이 접선, 방사, 섬유방향순이었으며 수종간에는 갈참나무가 각 온도에서 가장 컸고 잣나무,

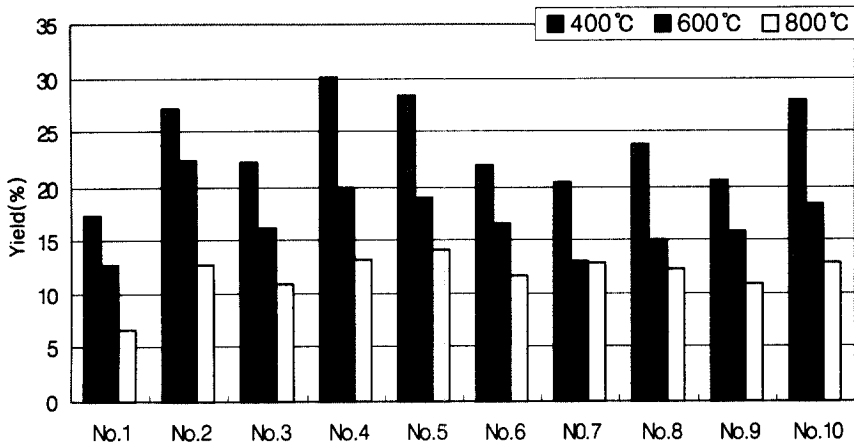


Fig. 2. The charcoal yields for the thinned trees with different treatment temperatures(Time 6 hours). (See table 1 for number.)

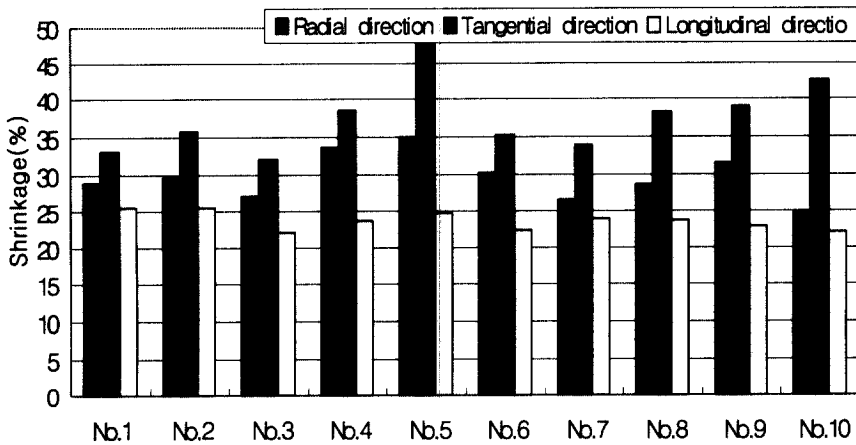


Fig. 3. The rates of shrinkage for the thinned trees after carbonization for 4 hours at 600°C. (See table 1 for number.)

소나무, 아까시나무가 작은 수축률을 나타냈다. 600°C 4시간의 경우 용적수축률이 평균적으로 66% 정도이고 섬유방향도 22%의 수축률을 나타냈다. Table 3은 탄화전후의 비중을 나타낸 것으로 탄화 후 비중은 탄화전 보다 낮은 것으로 나타나고 있다. 탄화전후의 비중을 보면 잣나무 탄화전 비중이 0.43, 탄화 후 비중이 탄화시간 4시간 400°C에서 0.19, 600°C에서 0.18, 800°C에서 0.21로 약 50%정도 감소했으며 다른 수종에서도 대부분 50%정도 감소했다. 표에서 볼 수 있는 것과 같이 온도에 따른 비중의 변화에는

관계가 없는 것으로 나타났다. 따라서 탄화만으로도 목질폐잔재의 부피감소, 경량화의 효과가 큰 것으로 나타났다.

3.3 목질폐잔재 탄화물의 물성

3.3.1 공업분석

목탄의 성분은 가열 자체로는 감량되지 않는 고정탄소분과 가열에 의해 휘산하는 휘발분및 연소 후에 잔류하는 무기물(회분)로 대별된다. Table 4는 목질

Table 3. The specific gravity of thinned trees before and after carbonization

Species	S.G. before carbonization	S.G. after carbonization		
		4hr at 400℃	4hr at 600℃	4hr at 800℃
1 <i>Pinus koraiensis</i>	0.43	0.19	0.18	0.21
2 <i>Larix leptolepis</i>	0.76	0.25	0.21	0.26
3 <i>Pinus densiflora</i>	0.45	0.26	0.24	0.24
4 <i>Pinus rigida</i>	0.59	0.32	0.33	0.24
5 <i>Quercus aliena</i>	0.98	0.51	0.38	0.55
6 <i>Quercus variabilis</i>	0.92	0.47	0.41	0.34
7 <i>Robinia pseudoacacia</i>	0.91	0.38	0.33	0.42
8 <i>Betula platyphylla</i>	0.54	0.27	0.20	0.28
9 <i>Populus x tomentiglandulosa</i> T.Lee	0.43	0.21	0.16	0.20
10 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.94	0.49	0.47	0.58

* S.G. : Specific gravity

Table 4. Proximate analysis of thinned trees carbonized at 600℃ for 4hrs

Species	MC(%)	Ash(%)	Volatile matter(%)	Fixed carbon(%)
1 <i>Pinus koraiensis</i>	1.14	2.68	13.04	83.14
2 <i>Larix leptolepis</i>	4.78	0.89	12.53	81.80
3 <i>Pinus densiflora</i>	4.48	1.12	15.74	78.66
4 <i>Pinus rigida</i>	4.84	1.00	12.62	81.54
5 <i>Quercus aliena</i>	1.43	4.08	15.11	80.35
6 <i>Quercus variabilis</i>	1.01	3.92	14.58	80.49
7 <i>Robinia pseudoacacia</i>	3.19	1.98	11.29	83.54
8 <i>Betula platyphylla</i>	1.83	3.01	14.07	81.09
9 <i>Populus x tomentiglandulosa</i> T.Lee	2.45	3.90	17.88	73.94
10 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	1.72	3.97	12.91	81.40
11 Active carbon	3.49	4.23	4.06	88.22

폐잔재의 탄화물을 60mesh로 분쇄 후, 목탄의 용도를 결정짓는 중요한 수단으로 이용되는 공업분석(JIS의 석탄시험법)의 결과를 나타낸 것이다. 수분은 전수종에서 5%미만을 나타냈으며 낙엽송, 리기다소나무, 아까시나무, 적송이 다른 수종에 비해 높게 나타났다. 이것은 탄화 전 목재의 공업분석치와 같은 경향을 보이고 있다. 회분은 0.89~4.08%의 범위로서 갈참나무, 굴참나무, 은사시나무, 물푸레나무 등이 높은 균이었고 낙엽송, 소나무, 리기다소나무 등이 낮은 균으로 나타났다. 휘발분은 약 12~17%의 범위로서 은사시나무가 17.88%, 그리고 소나무와 졸참나무

가 15%정도로 높은 균으로 나타났고, 원료의 공업분석과 같이 낙엽송과 아까시나무가 가장 적은 휘발분을 나타냈다. 고정탄소는 약 73.9~83.5%의 범위로서, 잣나무, 아까시나무가 약 83%로 높은 균에 속했으며, 소나무, 은사시나무가 70%정도로 낮은 값을 나타냈다. Mitsuyoshi등(1995)은 수종의 공업분석에서 소나무의 고정탄소량을 본 결과와 비슷하게 나타냈으나 낙엽송은 고정탄소를 36.04%로 본 결과의 82.68%보다 적게 보고하고 있다. 그러나 石橋등(1991)은 600℃로 탄화한 낙엽송 탄화물의 고정탄소율을 78.39%로 본 결과와 비슷한 값을 보고하고 있

다. 시판용 활성탄은 함수율 3.49%, 회분 4.23%, 휘발분 4.06% 그리고 고정탄소 88.22%로 간벌재의 탄화물보다 고정탄소는 높았으나 회분은 높은 군과 비슷한 값을 나타냈고 휘발분에서는 간벌재의 탄화물들이 약 3배정도 높게 나타났다.

3.3.2 수소이온농도

Fig.4는 간벌재의 탄화시간 4시간에서 탄화온도 400, 600, 800℃에 따른 수소이온농도를 나타낸 것이다. 수소이온농도는 탄화온도가 높을수록 탄화시간이 길수록 높은 수소이온농도 값을 나타냈다. 400℃, 4시간의 경우 약 pH 7.5를 나타냈고, 800℃, 4시간의 경우는 많은 수중에서 약 pH 10을 나타냈다. pH는 600℃ 4시간에서 급격히 높아지는 경향을 나타냈으

며, 그 이상의 온도와 시간에서는 차이가 적은 것으로 나타났다. 따라서 토양개량제로 이용할 때는 600℃ 4시간으로 탄화하여도 충분할 것으로 사료된다. 수중간에는 잣나무, 갈참나무, 굴참나무, 아까시나무, 은사시나무, 물푸레나무가 높게 나타났고, 낙엽송, 소나무, 리기다소나무, 자작나무가 그보다 낮은 값을 나타내고 있다. 비교를 위해 조사한 시판 활성탄은 약 pH 10정도를 나타냈다.

3.3.3 보수성

목탄을 토양개량제로서 이용할 때 보수성은 중요한 자료가 된다. Fig.5는 각 간벌재에 대해 탄화온도 600℃, 탄화시간 4시간의 탄화물에 대해 8일간에 걸쳐 중량감소를 측정 한 것이다. 초기 보수량이 시료무

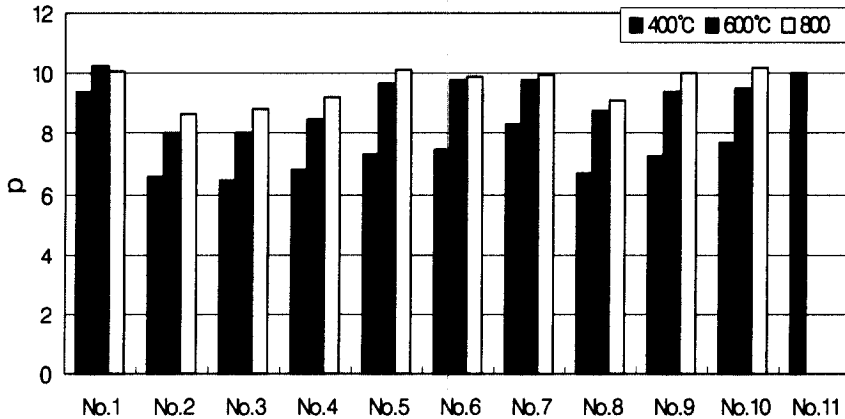


Fig. 4. The pH for the carbonized thinned trees with different treatment temperature(Time 4hours). (See table 4 for number.)

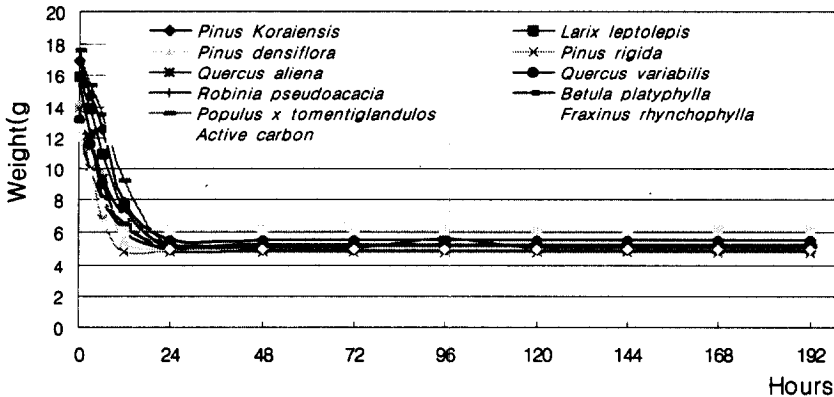


Fig. 5. Water-retention capacity of the thinned trees after carbonization for 4 hours at 600℃.

계의 약 2.5~3배로 나타났으며 액상의 수분은 경과 시간 24시간 정도로 증발되어 평형상태로 되었다. 평형함수율은 2~10%범위로 잣나무, 갈참, 은사시, 낙엽송 등이 높은 군 이었고, 리기다, 아까시나무, 적송 등이 낮은 경향을 나타냈다. 또한 탄화온도와 시간에 의한 보수성의 차이는 볼 수 없었다. 따라서 보수성을 요구하는 토양개량제로 탄화물을 사용할 경우에는 잣나무, 갈참나무 등 평형함수율이 높은 수종이 유리할 것으로 생각되고, 많은 시간과 노력이 필요하지 않은 400℃, 4시간의 낮은 온도와 짧은 시간으로 탄화하여도 될 것으로 생각된다.

4. 결 론

목질폐잔재중 용이하게 입수할 수 있는 간벌재를 이용하여 그 기초적 제탄 기술을 검토하고, 이 탄화물을 이용하여 토양개량, 탈취, 수분 등의 흡착, 미생물활동 담체, 하천등 수질정화제 등으로 이용하는데 기초자료를 얻을 목적으로 탄화물의 성능을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 간벌재의 공업분석결과 회분 0.22~0.73%, 휘발분 77~80%, 고정탄소 약 10~14%범위로 나타났다.
2. 간벌재의 탄화 수율은 온도가 높아질수록, 탄화시간이 길수록 낮게 나타났고 수축률은 높게 나타났다. 수율은 낙엽송, 리기다소나무, 소나무가 높았고, 잣나무,갈참나무가 낮았다. 탄화에 의한 수축률은 목재의 수분에 의한 수축률과 같이 접선, 방사, 섬유방향순 이었으며 섬유방향도 약 22%의 높은 수축률을 나타냈다. 탄화후 비중은 각 수종에서 약 50% 감소했다.

3. 탄화물의 공업분석결과를 보면 회분 0.89~4.08%, 휘발분 6.31~13.79%, 고정탄소 73.9~83.5%였다.

4. 수소이온농도는 온도가 높아질수록, 탄화시간이 길수록 높게 나타났다. 탄화온도 400℃의 경우 약 pH 7.5를 나타냈고, 600℃와 800℃의 경우는 차이가 거의 없이 약 pH 10정도를 나타냈다. 각 온도와 시간에서 수종간에는 잣나무, 갈참, 굴참, 아까시나무, 물푸레가 높았다.

5. 보수성은 본 실험의 탄화온도와 시간의 조건에 따른 영향 없이 비슷한 값을 나타냈다. 초기 24시간 내의 보수성은 시료무게의 약 2.5~3배 정도이고, 그 후 평형함수율은 2~10%의 범위를 나타냈다. 수종간에는 잣나무, 낙엽송, 갈참, 은사시가 높았다.

참 고 문 헌

1. Yatagai, M., R. Ito, T. Ohira and K. Oba. 1995. Effect of charcoal on purification of wastewater. Mokuzaei Gakkaiishi 41(4): 425~432
2. Humpherys, F. R, and G.E. Ironside. 1974. Charcoal from New South Wales species of timber. Forestry Commission of N.S.W. Tech paper 23: 41~42
3. 石橋一二. 1991. 木炭の秘めたパワー. 欄井技報社: 27~47
4. 岸本定吉. 1994. 木炭の博物誌. 総合科學出版. 東京. 260
5. 정대성, 민두식, 김병로. 1985. 침엽수재 수피의 물성. 한국임학회지 71: 59~65