

3層 파티클보드의 機械的 性質 豫測에 關한 研究 *1

朴喜浚*2·李弼宇*3·鄭主相*3

A Study on the Estimating the Mechanical Properties of Three-Layer Particleboard *1

Hee-Jun Park *2 · Phil-Woo Lee *3 · Ju-Sang Chung *3

ABSTRACT

Mechanical properties of 15 mm thick, three-layer particleboard were studied by varying resin content, specific gravity, mat moisture content, pressing time and pressing temperature.

Based on the results of the study, Multiple regression models were developed to estimate the mechanical properties of three-layer particleboard.

The results of this study showed the mechanical properties of particleboard were highly related with resin content, specific gravity and mat moisture content in decending order.

The mechanical properties were able to estimated as the linear function of resin content and specific gravity. However, the effects of change in mat moisture content on the mechanical properties showed a non-linear pattern. The mechanical properties curves over mat moisture content reached peaks at 15 %, and then decreased at 18 % and 21 % of mat moisture contents. On the other hand, the effects of pressing time and pressing temperature on the mechanical properties of particleboard were not significant.

Keywords : Particleboard, resin content, specific gravity, mat moisture content, press time, press temperature

1. 緒 論

파티클보드는 각종 木材加工産業에서 발생하는 막대한 양의 부산물과 임지 폐잔재 등을 그 原料로 하고 있어 매우 경제적인 材料일 뿐만 아니라 素材(solid)의 단점을 개선한 균일한 才質의 材料로 생산이 가능하고, 뒤틀림과 휨성질이 개선되었으며 또한 다양한 크기의 板狀材料로 製造가 가능하다

는 장점으로 인하여 계속적으로 그 사용량이 증가하는 추세에 있다.

이러한 파티클보드의 製造에는 수많은 變數들이 보드의 品質, 費用 그리고 利益에 개별적으로 혹은 상호 연관되어 직접 또는 간접적으로 영향을 미치고 있어 變數들 사이의 相互關係를 규명하는 데는 많은 어려움이 있다¹⁾.

예를들면 接着劑의 添加量이 증가하면 보드의

*1 接受 1993年 9月 15日 Received September 15, 1993

본 연구는 산학협동재단과 대성목재공업(주)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

*2 이리농공전문대학 Iri National College of Agriculture and Engineering, Iri 570-110, Korea

*3 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Suweon 441-744, Korea

2. 材料 및 方法

모든 強度的 性質은 일반적으로 향상^{2,3)}되지만 파티클보드의 製造費用에서 接着劑費用이 차지하는 比率은 증가하게 된다. 또한 파티클보드의 強度的 性質은 接着劑 添加量을 줄이고 제한된 한계 내에서 熱壓時間을 늘려 줌으로써 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 熱壓時間의 증가는 工場의 생산량을 감소시킴으로써 生産費는 증가하게 될 것이다³⁾.

그리고 파티클보드의 比重이 증가함에 따라 強度的 性質은 증가하게 되지만 최종보드의 比重은 原料 木材의 種類, 壓力, 熱壓溫度, 그리고 熱壓時間 등 製造工程 중의 여러 變數들과 函數關係를 갖고 있다. 그 중 가장 중요한 變數는 成形된 매트내의 木質量이 될 것이다⁴⁾. 그러나 木質量의 증가는 보드의 強度的 性質을 향상시키는 반면에 그것은 또한 原料費, 집건조를 위한 乾燥費 그리고 接着劑費用의 증가를 초래하게 된다. 또한 成形된 매트내 水分의 分布와 水分의 量은 熱壓時 接着劑 硬化를 위한 열전달의 매체로서 뿐만 아니라 보드의 品質에 중요한 역할을 하기 때문에 水分의 존재가 필수적이나 水分이 적거나 과다할 경우에는 제한된 熱壓溫도와 時間내에 接着劑의 硬化가 완전하게 이루어지지 않는다고 報告된 바 있다⁵⁾. 또한 水分이 과다하여 熱壓時 보드의 측면을 통하여 충분한 증발이 이루어지지 않았을 경우에는 熱壓 후 보드의 측면방향 터짐(delamination) 또는 스프링 백(spring back) 현상으로 보드의 品質에 치명적인 損傷을 입힌다고 報告된 바 있다³⁾. 이를 방지하기 위해서는 熱壓時間의 증가를 필요로 하나 熱壓時間의 증가는 에너지의 消耗量 증가 뿐만 아니라 生産量의 감소를 의미하므로 보드의 生産單價 上昇의 原因이 된다. 이와같은 變數 외에도 含水率, 熱壓溫度, 壓力, 原料木材의 種類, 添加劑의 種類, 그리고 파티클의 形狀과 成形方法 등 많은 變數가 존재하고 있다.

本 研究은 파티클보드 製造에 關여하는 因子들의 函數關係를 규명하고 生産工程의 體系를 分析하여 最適生産計劃을 수립할 수 있는 종합적인 情報分析 시스템을 개발하기 위한 研究의 第1報로서 파티클보드의 品質에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려진 變數 중 보드의 比重, 接着劑 添加量, 매트 含水率, 熱壓時間, 熱壓溫度를 決定變數로 하여 3層 파티클보드를 製造하고 이들 變數가 3層 파티클보드의 品質에 미치는 영향을 檢討하고 이들 變數들로 구성된 파티클보드의 機械的 性質 豫測模型을 提示하고자 遂行하였다.

2. 1. 파티클보드 製造

파티클보드 製造에 사용한 木材 파티클과 요소수지 接着劑(urea-formaldehyde resin adhesives) 그리고 왁스 에멀션(wax emulsion)은 국내 파티클보드 製造會社로부터 실제 보드 생산라인에서 보드 製造에 사용되고 있는 材料를 分讓받아 實驗室 내에서 파티클보드를 製造하였는 바 本 實驗에서 사용한 各 變數들과 일정하게 유지한 製造條件은 다음과 같다:

- (1) 接着劑 添加量: 6%, 9%, 12%, 15%, 18% (木質 全乾重量 基準)
- (2) 보드 目標比重: 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 (全乾比重)
- (3) 매트 含水率: 9%, 12%, 15%, 18%, 21%
- (4) 熱壓溫度: 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C
- (5) 熱壓時間: 300 sec, 420 sec, 540 sec, 660 sec, 780 sec.
- (6) 表層 對 芯層 比率: 37 對 63 (全乾重量 基準)
- (7) 파티클 크기: 表層: +0.3~ -1.2(mm), 芯層: +1.2~ -8.0(mm)
- (8) 添加劑: 왁스에멀션 1% (木質全乾重量 基準), 10% 염화암모늄(NH₄Cl) 수용액 10% (수지고형분 기준)
- (9) 파티클보드 크기: 길이 305×너비 250×두께 15(mm)
- (10) 반복수: 5 반복×2

2. 2. 파티클보드의 機械的 性質 測定

實驗製造한 파티클보드는 먼저 溫度 20±3°C, 相對濕度 65±1%의 恒溫恒濕機 내에서 1주일 이상 조습처리한 후 KS F 3104 및 ASTM D 1037의 試驗方法에 의거하여 萬能強度試驗機(U. T. M.)를 사용하여 翳破壞係數(M. O. R.), 翳彈性係數(M. O. E.), 引張強度(tensile strength) 그리고 剝離強度(I. B.)를 측정하였다.

이때, 시험편 수는 동일 보드에서 2 매씩을 채취하여 10 회 반복 측정하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1. 파티클보드의 機械的 性質

本 研究의 수행을 위해 接着劑 添加量(resin content, RC), 보드 比重(specific gravity, SG), 매트 含水率(mat moisture content, MC), 熱壓溫度(press temperature, TE), 熱壓時間(press time, TI)을 보드의 品質에 영향을 미치는 決定變

數로 하여 제조한 보드로 부터 측정된 휨破壞係數, 휨破壞係數, 引張強度 그리고 剝離強度의 측정결과를 Table 1과 Fig. 1~10에 나타낸 바와 같다.

Table 1에서는 각 종류별 보드 10 반복의 평균값과 표준오차를 나타내었으며, Fig. 1부터 Fig. 10에서는 각 종류별 보드 10 반복의 實測値와 單純回歸模型 그리고 回歸模型에 의한 豫測値로 나타내었다. Table과 Fig. 에서 보는 바와 같이 파티클 보드의 휨破壞係數, 휨彈性係數, 引張強度 그리고 剝離強度는 樹脂添加量과 보드의 比重이 증가함에 따라 線形的으로 증가하는 경향을 나타내어 Lehmann²⁴의 研究와 유사한 結果를 보여 주었다. 接着劑 添加量이 6%에서 18%로 증가함에 따라 휨破壞係數는 平均 68.04 kgf/cm²에서 平均 187.14 kgf/cm²로 接着劑 添加量이 증가함에 따라 線形的으로 증가하였으며, 휨彈性係數도 接着劑 6% 첨가시 平均 3,023.29 kgf/cm²에서 18% 첨가시 平均 9,322.27 kgf/cm²의 分布를 보여 接着劑 添

加量이 증가함에 따라 線形的으로 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 接着劑 添加量에 따른 強度의 性질 變化를 單純線形回歸模型으로 나타낼 수 있었는데, 그 결과 휨破壞係數와 휨彈性係數를 각각 MOR=16.08+9.98 (RC), MOE=182.99+530.70 (RC)로 나타낼 수 있었다. 이때 決定係數(r²)는 각각 0.91과 0.92를 나타내어 實測値가 回歸模型에 적합한 분포상태를 이루고 있음을 알 수 있었다.

또한 引張強度와 剝離強度도 接着劑 添加量이 증가함에 따라 線形的으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 單純線形回歸模型 역시 Fig. 2에서 보는 바와 같이 TS = -11.65 + 5.54 (RC), IB = -3.96+0.87 (RC)로 나타낼 수 있었다. 이때, 回歸模型의 決定係數(r²)는 引張強度와 剝離強度에서 각각 0.88과 0.84를 나타내어, 接着劑 添加量과 보드의 引張強度, 剝離強度 사이의 關係를 나타낸 回歸模型이 잘 적합함을 알 수 있었다.

Table 1. Mechanical properties of three-layer particleboard by decision variables*¹

Variables					Mechanical properties			
Resin content (%)	Specific gravity	Mat moisture content (%)	Press temp (°C)	Press time* ² (sec.)	M.O.R. (kgf/cm ²)	M.O.E. (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Internal bond strength (kgf/cm ²)
6.0	0.7	12.0	11.0	420	68.04±10.77	3023.29±475.03	18.40± 2.85	1.29±0.28
9.0	0.7	12.0	11.0	420	111.96±11.55	5149.66±356.51	37.63± 5.11	3.26±1.30
12.0	0.7	12.0	11.0	420	139.05±11.42	6789.04±354.50	61.67± 5.83	6.62±1.94
15.0	0.7	12.0	11.0	420	173.28±13.74	8472.69±679.88	72.42±12.88	9.67±1.67
18.0	0.7	12.0	11.0	420	187.14±10.76	9322.27±880.63	84.12± 8.49	11.37±2.25
10.0	0.6	12.0	11.0	420	73.29±10.07	2956.00±555.85	24.51±5.33	2.71±0.96
10.0	0.7	12.0	11.0	420	126.17±13.08	5662.00±624.32	43.79±4.44	5.04±1.11
10.0	0.8	12.0	11.0	420	124.72±19.98	5290.00±771.06	53.32±7.25	5.46±2.23
10.0	0.9	12.0	11.0	420	103.23±14.19	4354.00±421.12	52.92±5.27	5.43±0.91
10.0	0.7	9.0	110	420	110.14± 8.03	4450.81±306.90	46.78±5.82	3.14±0.51
10.0	0.7	12.0	110	420	143.09±13.86	6163.44±377.31	55.31±6.69	5.17±1.49
10.0	0.7	15.0	110	420	147.21±17.23	6725.07±449.28	62.73±7.08	5.37±1.04
10.0	0.7	18.0	110	420	135.97±13.25	6411.72±489.58	50.97±7.56	4.84±1.84
10.0	0.7	21.0	110	420	102.71± 7.74	5133.76±350.66	34.80±4.68	2.87±0.68
10.0	0.7	12.0	110	420	76.25±10.46	2443.92±263.54	37.75±3.52	3.73±1.09
10.0	0.7	12.0	120	420	87.95± 9.60	3430.73±536.82	37.74±3.25	4.05±0.99
10.0	0.7	12.0	130	420	90.06±10.38	3349.80±219.39	36.90±5.21	3.54±0.82
10.0	0.7	12.0	140	420	95.62± 8.61	3668.86±301.91	44.69±4.59	5.91±2.07
10.0	0.7	12.0	150	420	103.71± 8.77	4044.87±259.03	50.79±4.41	6.22±1.47
10.0	0.7	12.0	110	300	97.70± 9.59	3709.15±519.65	40.30±5.50	2.48±0.42
10.0	0.7	12.0	110	420	107.33±11.08	3888.41±256.18	37.37±4.73	2.65±0.56
10.0	0.7	12.0	110	540	109.72± 8.59	3936.01±325.15	42.82±5.56	2.98±0.45
10.0	0.7	12.0	110	660	110.10± 8.03	4242.30±258.29	44.69±4.59	3.23±0.56
10.0	0.7	12.0	110	780	114.07± 7.79	4337.91±251.36	43.44±4.67	3.33±0.31

*¹ Each value is the average(± standard deviation) of ten replications.

*² Including closing time (60 sec.)

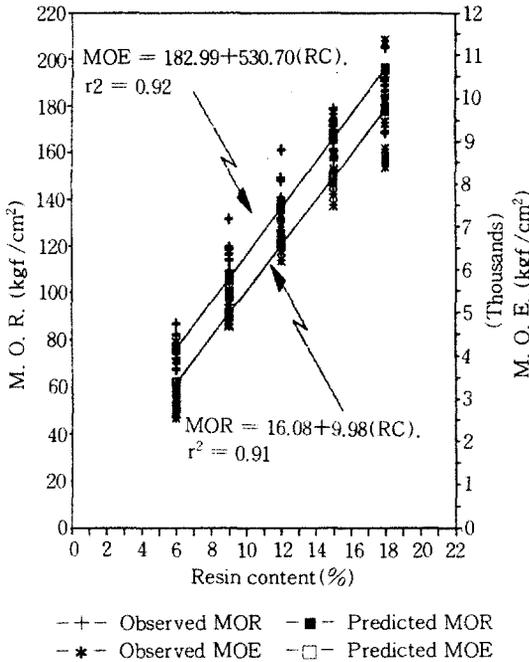


Fig. 1. Effects of resin content(RC) on modulus of rupture and modulus of elasticity of three-layer particleboard

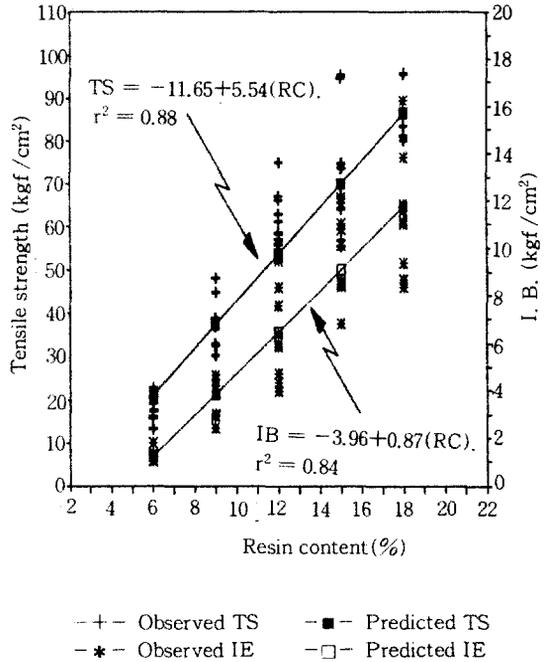


Fig. 2. Effects of resin content(RC) on tensile strength and internal bond strength of three-layer particleboard

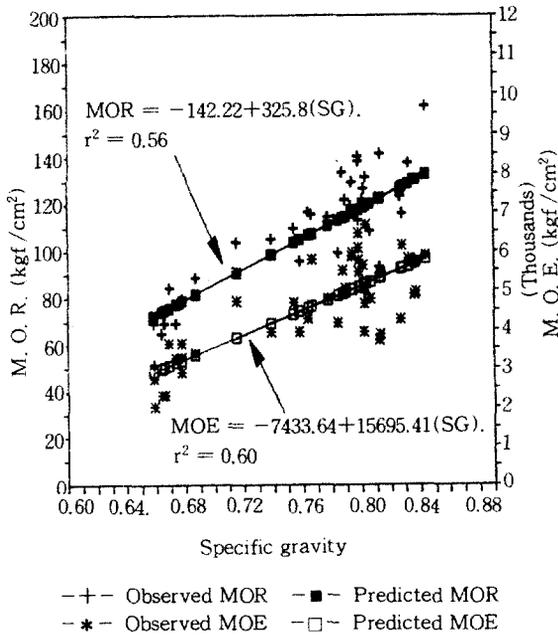


Fig. 3. Effects of specific gravity(SG) on modulus of rupture and modulus of elasticity of three-layer particleboard

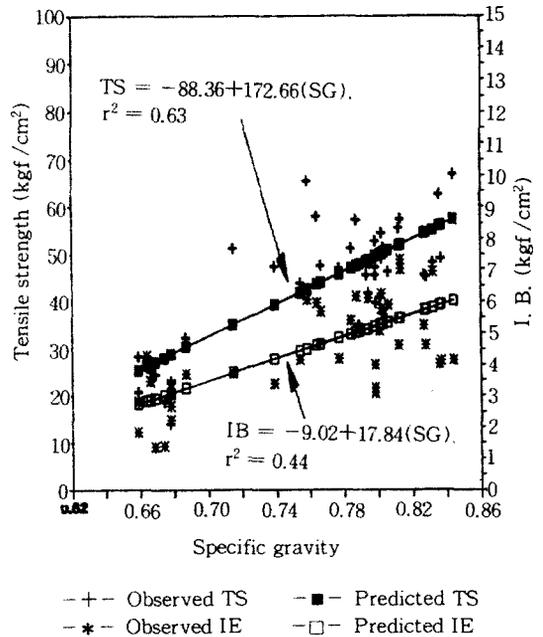


Fig. 4. Effects of specific gravity(SG) on tensile strength and internal bond strength of three-layer particleboard

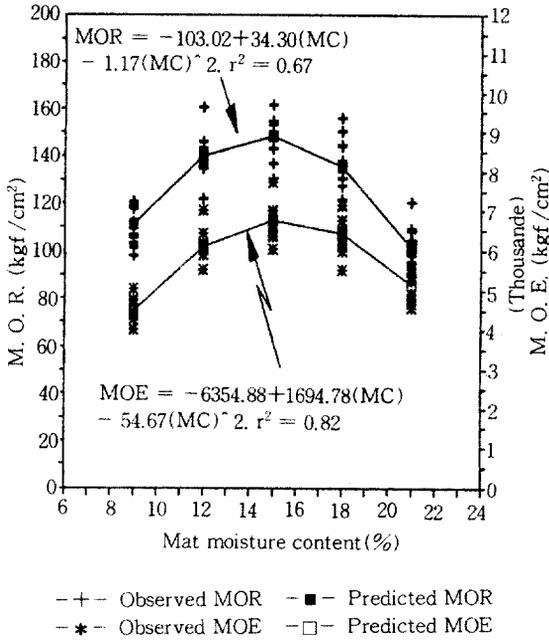


Fig. 5. Effects of mat moisture content(MC) on modulus of rupture and modulus of elasticity of three-layer particleboard

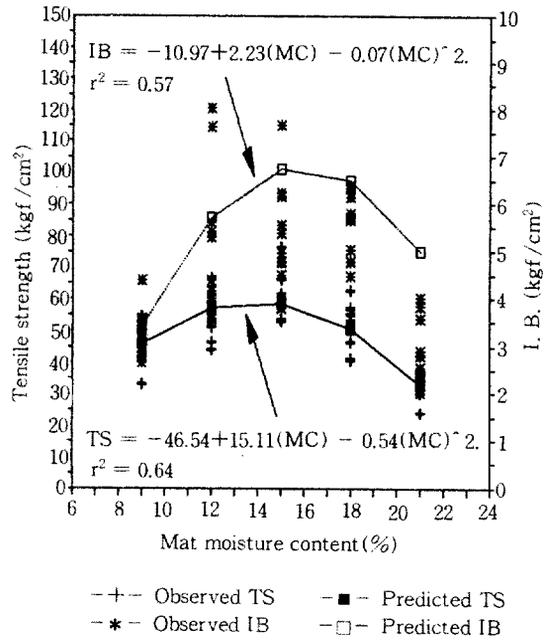


Fig. 6. Effects of mat moisture content(MC) on tensile strength and internal bond strength of three-layer particleboard

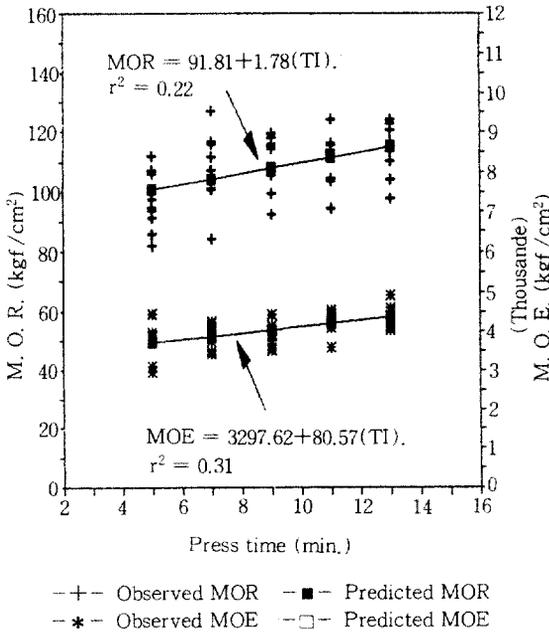


Fig. 7. Effects of press time(TI) on modulus of rupture and modulus of elasticity of three-layer particleboard

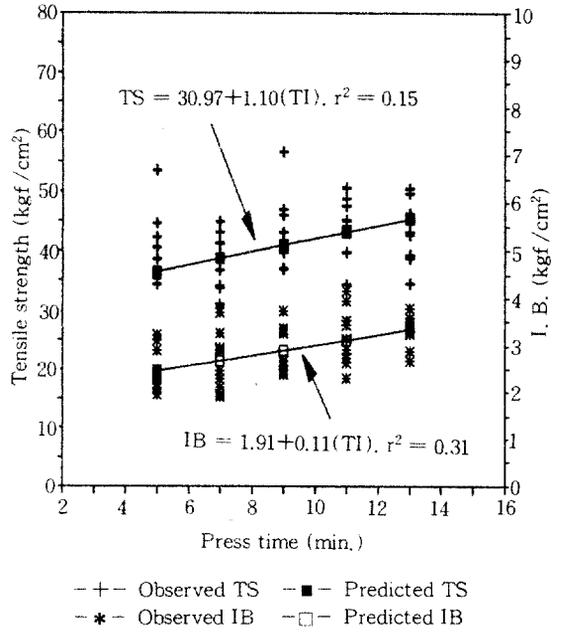
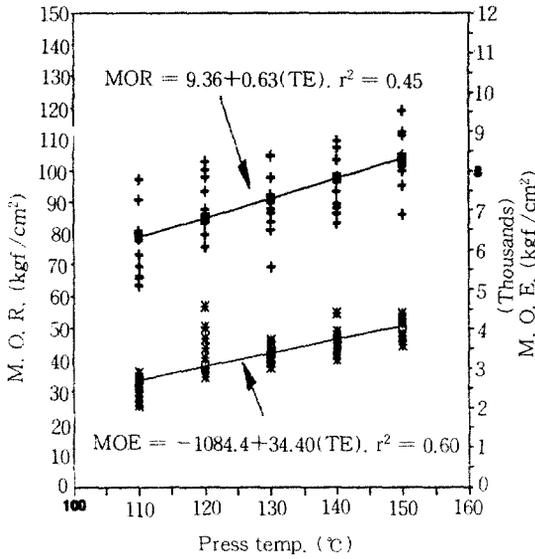
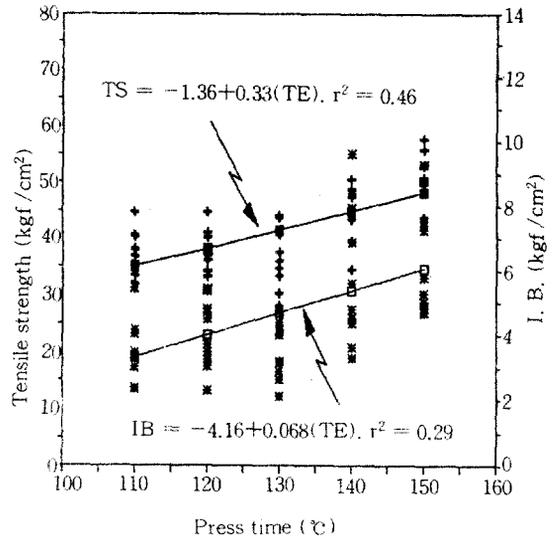


Fig. 8. Effects of press time(TI) on tensile strength and internal bond strength of three-layer particleboard



-+- Observed MOR -■- Predicted MOR
 -*-* Observed MOE -□- Predicted MOE

Fig. 9. Effects of press temperature(TE) on modulus of rupture and modulus of elasticity of three-layer particleboard



-+- Observed TS -■- Predicted TS
 -*-* Observed IB -□- Predicted IB

Fig. 10. Effects of press temperature(TE) on tensile strength and internal bond strength of three-layer particleboard

Fig. 3과 Fig. 4는 보드의 比重 변화에 따른 機械的 性質의 變化를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 보드의 比重 변화에 따른 強度的 性質의 變化는 接着劑 添加量에 따른 強度的 性質의 變化에서 만큼 높은 決定係數를 나타내지는 않았으나 전반적으로 比重이 증가함에 따라 強度的 性質이 向上됨을 알 수 있었다. 本 研究에서는 보드의 目標比重을 0.6, 0.7, 0.8, 그리고 0.9로 하여 보드를 製造하였으나 製造 後 보드의 比重은 實際적으로 이에 미치지 못하는 보드가 많았으며, 그와같은 傾向은 높은 比重의 보드일 수록 심하게 나타났다. 이는 本 研究에서 설정한 熱壓條件 내에서 보드내에 있는 水分이 충분히 蒸發하고, 接着劑가 충분히 硬化되지 못하여 高比重의 보드에서 스프링 백 (spring back) 현상이 나타나 보드의 比重이 目標比重에 미치지 못한 것으로 사료된다. Fig. 3과 Fig. 4는 제조한 보드로부터 測定한 全乾比重의 變化에 따른 強度的 性質의 變化와 그림에 나타난 바와 같은 單純線形回歸模型으로 부터 구한 豫測值을 나타낸 것이다.

한편, 매트 含水率의 變化와 強度的 性質과의 關係는 Table 1과 Fig. 5와 Fig. 6에 나타난 바와 같

다. 표와 그림에서 보는 바와 같이 매트 含水率과 強度的 性質과의 關係는 非線形的으로 나타났다. 측정된 3層 파티클보드의 機械的 性質은 매트 含水率 15%일 때 가장 높은 強度的 性質을 나타내었는 바, 翹曲係數, 翹彈性係數, 引張強度 그리고 剝離強度가 各各 平均 147.21 kgf/cm², 6725.07 kgf/cm², 62.73 kgf/cm² 그리고 5.37 kgf/cm²을 나타내었다. 매트 含水率이 15% 이하로 낮아지거나 높아질 경우에는 오히려 強度가 감소하는 傾向을 나타내었다. 이는 Kelly¹¹가 報告한 바와 같이 파티클보드 製造에 있어서 熱壓時 水分이 열전달 매체로서 接着劑의 硬化에 중요한 역할을 하기 때문에 水分의 量은 보드의 品質에 중요한 영향을 미친다는 것을 보여 주는 것이다. 따라서 매트 含水率의 變化에 따른 強度的 性質의 變化는 非線形回歸模型으로 나타내었으며, 本 研究에서 구한 各各의 強度的 性質에 대한 非線形回歸模型은 그림에 나타난 바와 같다.

또한, 本 研究에서는 熱壓時間과 熱壓溫度를 變數로하여 이들의 變化가 強度的 性質에 미치는 影響을 分析하고자 하였다. Table 1과 Fig. 7 부터 Fig. 10에서 보는 바와 같이 熱壓溫도의 증가나 熱

Table 3. Regression models for mechanical properties of particleboard

	$Y=a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_1^2 + fX_2^2 + gX_3^2 + hX_1X_2 + iX_1X_3 + jX_2X_3$	r^2
M. O. R. (kgf/cm ²)	$= 2943.06 - 76.28(RC)^{*1} + 1121.94(SG)^{*2} - 473.66(MC)^{*3}$ $- 16.08(RC)^2 - 1108.43(SG)^2 - 0.20(MC)^2 + 13.40(SG)(RC)$ $+ 38.45(SG)(MC) + 37.78(RC)(MC)$	0.653
M. O. E. (kgf/cm ²)	$= 213936 - 6076.65(RC) + 63829(SG) - 33202(MC)$ $- 1140.06(RC)^2 - 60961(SG)^2 - 11.36(MC)^2 + 1118.84(SG)(RC)$ $+ 1658.23(SG)(MC) + 2709.61(RC)(MC)$	0.714
T. S. (kgf/cm ²)	$= -669.19 + 4.54(RC) + 571.88(SG) + 69.83(MC)$ $+ 2.45(RC)^2 - 669.40(SG)^2 - 0.18(MC)^2 + 24.29(SG)(RC)$ $+ 15.81(SG)(MC) - 6.32(RC)(MC)$	0.642
I. B. (kgf/cm ²)	$= -127.71 - 0.68(RC) + 53.86(SG) + 17.94(MC)$ $+ 0.56(RC)^2 - 72.19(SG)^2 - 0.06(MC)^2 + 5.44(SG)(RC)$ $- 0.36(SG)(MC) - 1.33(RC)(MC)$	0.642

*¹ RC = resin content (%)

*² SG = specific gravity

*³ MC = mat moisture content (%)

Table 4. Analysis of variance table of M. O. R., M. O. E., tensile strength and internal bond strength data

Mechanical properties	Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Prob>F
M. O. R.	Model	9	145407.92052	16156.43561	46.637	0.0001
	Error	223	77253.48539	346.42819		
	C Total	232	222661.40591			
M. O. E.	Model	9	529111057.41	58790117.490	61.820	0.0001
	Error	223	212070328.85	950988.02176		
	C Total	232	741181386.27			
Tensile strength	Model	9	37866.08718	4207.34302	44.335	0.0001
	Error	223	21162.36626	94.89850		
	C Total	232	59028.45344			
Internal bond strength	Model	9	1041.15322	115.68369	46.178	0.0001
	Error	223	558.65014	2.50516		
	C Total	232	1599.80335			

과 같다.

1. 本 研究에서 제시한 變數 가운데서 接着劑 添加量이 파티클보드의 機械的 性質과 가장 높은 相關關係를 나타내었으며, 다음으로 보드의 比重, 매트 含水率의 순이었으며, 熱壓溫度 및 熱壓時間과는 相關關係가 거의 없는 것으로 나타났다.
2. 接着劑 添加量과 比重이 증가할 수록 모든 보드의 機械的 性質은 線形的으로 증가 하는 경향을 나타내어 線形回歸 模型으로 나타낼 수 있었으나, 매트 含水率의 변화에 있어서는 15% 부근에서 最大 強度의 性質을 나타내었고, 그 이상이나 그이하에서는 감소하는 경향을 나타 내었다.

3. 韌破壞係數(MOR), 韌彈性係數(MOE), 引張強度(TS) 및 剝離強度(IB)의 豫測模型은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$M. O. R. (kgf/cm^2) = 2943.06 - 76.28(RC) + 1121.94(SG) - 473.66(MC) - 16.08(RC)^2 - 1108.43(SG)^2 - 0.20(MC)^2 + 13.40(SG)(RC) + 38.45(SG)(MC) + 37.78(RC)(MC)$$

$$M. O. E. (kgf/cm^2) = 213936 - 6076.65(RC) + 63829(SG) - 33202(MC) - 1140.06(RC)^2 - 60961(SG)^2 - 11.36(MC)^2 + 1118.84(SG)(RC)$$

$$+1658.23(\text{SG})(\text{MC})+2709.61(\text{RC})$$

(MC)

$$\begin{aligned} \text{T. S. (kgf/cm}^2\text{)} = & -669.19+4.54(\text{RC}) \\ & +571.88(\text{SG}) + 69.83(\text{MC}) \\ & + 2.45(\text{RC})^2 - 669.40(\text{SG})^2 \\ & -0.18(\text{MC})^2+24.29(\text{SG})(\text{RC}) \\ & +15.81(\text{SG})(\text{MC}) -6.32(\text{RC}) \\ & (\text{MC}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{I. B. (kgf/cm}^2\text{)} = & -127.71-0.68(\text{RC}) \\ & + 53.86(\text{SG}) + 17.94(\text{MC}) \\ & + 0.56(\text{RC})^2 - 72.19(\text{SG})^2 \\ & - 0.06(\text{MC})^2 + 5.44(\text{SG})(\text{RC}) \\ & -0.36(\text{SG})(\text{MC}) -1.33(\text{RC}) \\ & (\text{MC}) \end{aligned}$$

參 考 文 獻

1. Kelly, M. W. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA For. Serv. Gen. Tec. Rep. FPL-10
2. Lehmann, W. F. 1970. Resin efficiency in particleboards as influenced by density, atomization, and resin content. *Forest Prod. J.* 20(11) : 48-58
3. Maloney, T. M. 1977. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. Miller Freeman Pub : 672
4. _____ . 1974. Properties of structural particleboards. *Forest Prod. J.* 24(1) : 19-26
5. American Society for Testing Materials. 1984. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D1037-78. Philadelphia, Pa
6. Brumbaugh, J. 1960. Effect of flake dimensions on properties of particle boards. *Forest Prod. J.* 10(2) : 243-246
7. Carll, C. G., and Peiyuan W. 1983. Data for prediction of mechanical properties of aspen flakeboards. USDA For. Serv. Res. Note FPL-0246
8. Carroll, M. and D. McVEY. 1962. An analysis of resin efficiency in particleboard. *Forest Prod. J.* 12(7) : 305-310
9. Geimer, R. L., H. M. Montrey, and W. F. Lehmann. 1975. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. *Forest Prod. J.* 25(3) : 19-29
10. Geimer, R. L. 1981. Predicting shear and internal bond properties of flakeboard. *Holz als Roh-und Werkstoff* 39 : 409-415
11. Hoover, W. L., M. O. Hunt, R. C. Lattanzi, J. H. Bateman, and J. A. Yoingquist. 1992. Modeling mechanical properties of single-layer, aligned, mixed-hardwood strand panels. *Forest Prod. J.* 42(5) : 12-18
12. Lyon, D. E. and C. E. Thaggard. 1988. Use of computer simulation modeling to predict properties of oriented flakeboard. Structural wood composites : new technologies for expanding markets : 14-18
13. McNatt, J. D. 1973. Basic engineering properties of particleboard. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 206
14. Post, P. W. 1958. The effect of particle geometry and resin content on bending strength of oak particleboard. *Forest Prod. J.* 8(10) : 317-322
15. Stewart, H. A. and W. F. Lehmann. 1973. High-quality particleboard from crossgrain, knife-planed hardwood flakes. *Forest Prod. J.* 23(8) : 52-60
16. Suchsland, O and H. Xu. 1991. Model analysis of flakeboard variables. *Forest Prod. J.* 41(11/12) : 55-60
17. Vital, B. R., J. B. Wilson and P. H. Kanarek. 1980. Parameters affecting dimensional stability of flakeboard and particleboard. *Forest Prod. J.* 30(12) : 23-29
18. 성내경. 1991. SAS /STAT-회귀분석. 자유아카데미