

파티클보드 製造工程의 最適化 모델개발에 관한 研究¹
정주상² · 박희준³ · 이필우³

**A Study on Developing an Optimization Model for
Particleboard Manufacturing Processes¹**
Joo Sang Chung², Hee Jun Park³ and Phil Woo Lee³

要 約

이 논문에서는 非線型計劃法에 의해 파티클보드 생산공정을 분석하여 생산비용을 최소화하기 위한 電算모델을 제시하였다. 意思決定變數는 파티클보드의 생산비용 및 품질과 밀접한 관련이 있는 생산 공정상의 요소로써 파티클보드의 比重, 접착제 첨가량 및 매트함수율로 설정하였으며, 횡강도 및 박리강도와 같은 파티클보드의 최저 품질기준은 制約條件으로써 이러한 意思決定變數들의 非線型函數로 수식화되었다. 또한 電算모델을 시나리오에 따른 가상적인 생산여건들에 적용하여 봄으로써, 칩가격, 접착제 가격 및 열압속도와 같은 經營因子들의 變動이 생산비용에 미치는 영향력을 分析하여 전산모델의 適用例를 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, a nonlinear programming model to determine the optimal operating policy to minimize production costs for particleboard plants is presented. The model provides optimal values for three decision variables: specific gravity of particleboard, mat moisture content and mat resin content. These decision variables are key factors influencing the cost and quality of particleboard manufacturing processes. In formulating the nonlinear programming model, the minimum quality standards for internal bond strength and modulus of rupture of particleboard are used as industry-wide quality constraints. These quality standards are expressed as nonlinear functions of the decision variables. In order to demonstrate the applicability of the proposed model, the model is applied to solve for optimal solutions of four theoretical problems. The problem scenarios are built to investigate effects of changes in hot-pressing speed and purchase price of chip and resin.

Key words: particleboard, optimal operating policy, nonlinear programming, cost and quality, applicability of the model.

¹ 接受 1993年 8月 10日 Received on August 10, 1993.

² 서울대학교 山林資源學科 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

³ 서울대학교 林産工學科 Department of Forest Products, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

* 이 논문은 재단법인 산학협동재단 및 대성목재공업주식회사의 Matching Fund 학술연구비 지원에 의한 자유 선택과제 연구결과의 일부임.

序 論

파티클보드는 각종 木材工業에서 발생하는 폐잔재 등을 주원료로 하여 제조할 수 있다는 매우 경제적인 측면에서의 장점과 목재의 단점인 활렬, 웅이 그리고 부후 등의 결점을 제거한 均質한 판상재료로 제조할 수 있다는 장점 등으로 인하여 家具材料와 建築用 材料 등과 같은 각종 내외장 재료로 널리 쓰이고 있다.

國內外의 文獻考察에 의하면 이상과 같은 이유 등으로 해서 지금까지 파티클보드 제조에 관한 연구는 많은 학자들(Carroll and McVey, 1962; Lehmann, 1970; Geimer 등, 1975; Kelly, 1970; 이필우 등, 1993 등)에 의해 진행되어 왔으나, 대개의 경우 보드의 品質向上에 중점이 두어졌다. 그러나 파티클보드 제조에는 많은 변수들이 관련되어 있으며, 이들 변수들이 품질 뿐만 아니라 전체 생산비에 직접 혹은 간접적인 영향을 주고 있으나 이들 변수들간의 相互關係나 전체 생산공정상에서의 역할, 그리고 전체 생산비에 미치는 영향 등에 관한 연구는 아직까지 진행되어진 바가 없었던 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이들 생산공정과 관련된 주요 인자들간의 函數關係를 규명하고, 그러한 函數關係로부터 最適 生産計劃을 수립할 수 있는 數學的 모델을 제시한다. 또한 제시된 數學的 모델을 풀 수 있는 전산모델을 제시함과 아울러 개발된 모델의 적용성을 검토하고자 한다. 이와같은 분석을 통해 파티클보드 제조공정의 각 決定變數가 최종 파티클보드의 품질과 비용에 미치는 영향을 평가하고, 最適 生産을 위한 전체 생산공정을 결정할 수 있음은 물론 외부의 생산환경 변화에 합리적으로 대응할 수 있는 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

파티클보드 生産工程 및 生産工程上의 主要變數

파티클보드 제조공정의 대략적인 模式圖는 그림 1에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 完製品の 파티클보드가 생산되기 위해서는 여러 工程을 거치게 된다. 먼저 각종 木質原料(주로 원목 또는 목재공장의 제재 부산물)가 野

積場으로부터 운반되어 치퍼(chipper)를 통해 다양한 크기의 칩으로 절삭된다. 절삭된 칩은 건조기를 통하여 일정한 函數率까지 건조가 된 후 선별기(screen)를 통하여 표층용 및 심층용 칩으로 분리되어 저장되고 너무 큰 칩이나 작은 칩은 재치핑되거나 연료로 쓰이기 위하여 보일러로 회수된다. 표층용과 심층용으로 분리 저장된 칩은 연속된 흐름을 따라 접착제와 각종 첨가제가 도포되어 성형기(former)내로 이송된다. 성형기로 이송된 칩은 컨베이어 벨트위의 철판(steel sheet)위에 표층과 심층으로 구분되어 매트(mat)가 성형된다. 이와같이 성형된 매트는 예압단계를 거쳐 고온, 고압의 열압기내에 투입되어 열압이 완료된다. 열압된 보드는 냉각과 트리밍(trimming) 그리고 표면연삭공정을 거쳐 일정 크기로 재단이 되어 검사, 포장의 단계를 거쳐 최종 반출되게 된다.

이와같이 파티클보드 제조에 있어서는 많은 工學的, 經濟的 變數들이 보드의 품질, 제조비용 그리고 이익에 個別的 혹은 相互 聯關을 가지고 직접 또는 간접적인 영향을 미치게 된다. 예를들면 Lehmann(1970, 1974)과 Suchsland 등(1991)은 접착제의 첨가량을 증가시켰을 때 보드의 強度의 性質이 향상된다고 보고한 바 있으나 접착제 첨가량의 증가는 곧 보드의 製造費用 증가를 가져오게 된다. Kelly(1977)는 보드의 비중이 증가함에 따라 보드의 強度의 性質이 向上된다고 보고 하였다. 그러나 이는 성형된 매트내 목질량의 증가로 원료비, 칩 건조를 위한 乾燥費 그리고 접착제 비용도 아울러 증가함을 의미하게 된다. 또한 그는 성형된 매트내 수분의 존재는 열압시 접착제 硬化를 위한 熱傳達의 模體로써 뿐만 아니라 보드의 品質에 중요한 역할을 하기 때문에 적당한 수분의 존재가 필수적인 것이라고 하였다. 그러나 수분이 과소 혹은 과다할 경우에는 제한된 熱壓溫度하에서 제한된 시간내에 접착제의 硬貨가 완전하게 이루어 지지 않게 된다. 특히 수분이 과다하여 열압시 보드의 측면을 통하여 충분한 증발이 이루어 지지 않았을 경우에는 熱壓 후 해압시 보드의 측면방향 터짐 또는 과다한 스프링 백(spring back) 현상으로 보드의 품질에 致命的 損傷을 입히게 된다고 보고한 바 있다. 이를 방지하기 위해서는 열압시간의 증가를 필요로하나 열압시간의 증가는 에너지의 소모

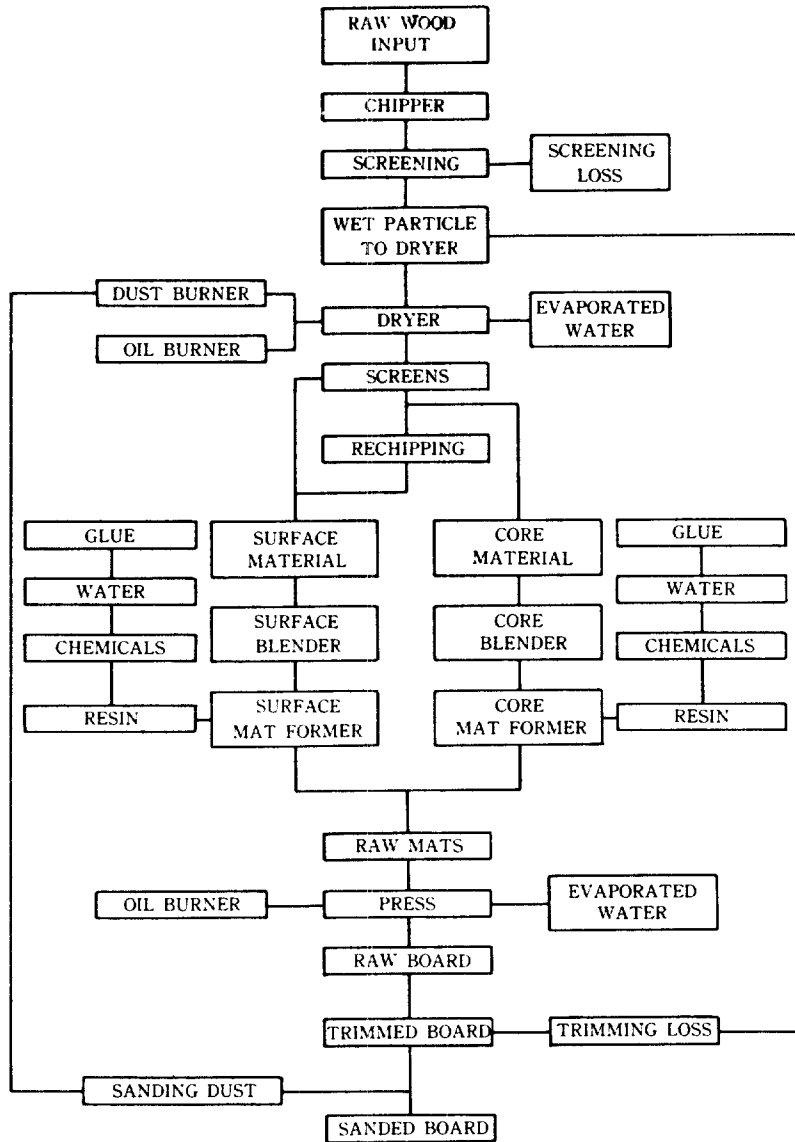


Fig 1. Flow diagram for manufacturing three-layer particleboard.

량 증가 뿐만 아니라 생산량의 감소를 의미하므로 보드의 생산비용 역시 증가하게 된다.

이와같은 變數외에도 원료로 사용한 木材의 樹種, 칩의 크기나 형상, 열압온도와 압력, 첨가제의 종류와 첨가량 등이 품질과 비용에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

그러나 이러한 많은 변수들과 품질 그리고 생산비용과의 구체적인 函數關係는 아직 밝혀져 있지 않은 상태에 있다. 이 등(1993)은 파티클보드 제

조상의 수 많은 변수들 가운데 보다 중요하다고 여겨지는 보드의 비중, 접착제 첨가량, 매트 함수율, 열압온도 그리고 열압시간을 변수로 하여 3층 파티클보드의 기계적 성질 예측에 관한 연구에서 이들 변수와 기계적 성질과의 函數關係를 제시한 바 있다.

따라서 본 연구에서도 李 등(1993)의 연구결과를 토대로 하여 많은 변수들 가운데 보다 중요하게 품질과 비용에 영향을 미친다고 판단되는 파

티클보드의 비중, 접착제 첨가량 그리고 매트 함수율을 決定變數로 하였다. 그 외의 공정상의 變數들은 固定變數로 처리하여 이들 변수와 파티클보드의 품질 그리고 생산비용과의 함수관계를 제시하고 이들 함수관계로부터 최적의 제조조건을 찾을 수 있는 전산모델을 개발하였다.

전산모델의 開發

1. 파티클보드 製造工程의 數式模型

본 연구에서는 표 1에 나타난 입력 변수들을 설정하고 이들 변수와 파티클보드의 최종 單位立方(m³) 생산시 보드의 品質(휨강도, 박리강도), 목질원료, 접착제, 왁스, 그리고 각종 에너지원

의 요구량과 비용, 그리고 最適化 조건에서의 이들 원재료의 요구량과 비용과의 함수관계를 규명한다. 또한 본 연구에서 택한 入力變數(표 1)와 파티클보드의 품질(휨강도와 박리강도)을 豫測하고 아울러 단위 입방보드를 생산하는데 요구되는 목질원료, 접착제, 왁스, 전기, 기름의 양과 비용을 계산하고 또한 현재의 제조조건에서 단위입방 생산시 總賣出額과 總生産費를 산출하여 순이익을 계산하기 위한 함수식들은 표 2에 나타낸 바와 같다.

2. 最適化 모델

파티클보드 제조업체의 經營目的을 순이익의 極大化라 할 때, 전체 경영시스템은 개별 혹은

Table 1. Definitions of input variables.

Variables	Definitions
CCHIPW	Cost of oven-dried wood chip (won/kg)
CHIPMC	Moisture content of wood chip (%)
CRESIN	Resin cost (won/kg)
CWAX	Wax cost (won/kg)
PREFA	% resin content in board face
PRECO	% resin content in board core
PWAFAC	% wax content in board face
PWACO	% wax content in board core
PFRE	Solid content of resin in board face (%)
PCRE	Solid content of resin in board core (%)
ODCHIP	Moisture content of chip after drying (%)
PPELF	Irrecoverable % loss of chip
PLCHIP	% loss of chip in process
PCFM	% weight of face in board
PCCM	% weight of core in board
BTLG	Board trims along length (cm)
BTWD	Board trims along width (cm)
FBWD	Board width after hot pressing (cm)
FBLG	Board length after hot pressing (cm)
PBTH	Board thickness after hot pressing (cm)
FBTH	Finished board thickness (cm)
CALDRY	Electric energy required to evaporate water (kwh/kg)
RKWFB	Electric energy required to produce board (kwh/m ³)
COKW	Cost of electricity (won/kwh)
CALOIL	Calories of oil (cal/l)
COIL	Cost of oil (won/l)
ODWB	Density of finished board (kg/m ³)
MCFB	Moisture content of finished board (%)
PRSPED	Press speed (mm/sec)
PAPB	Net sales value of board (won/ea.)
PBFINES	% recovery of wood chip for fuel
RPFINES	% recovery of wood chip for raw material
CALFINES	Calories of wood fines (cal/kg)

(* Finished board indicates the final product of board.)

Table 2. Definitions of variables used in simulation.

Variables	Definitions
WWFB	Moisture content in finished board (kg/m ³) $WWFB = (MCFB/100 \times ODWB) / (1 - (MCFB/100))$
ODWFB	Oven-dried weight of finished board (kg/m ³) $ODWFB = ODWB - WWFB$
RWFB	Resin content in finished board (kg/m ³) $RWFB = ODWB \times ((PCFM/100) \times (PREFA/100)) + ((PCCM/100) \times (PRECO/100))$
WAWFB	Wax content in finished board (kg/m ³) $WAWFB = ODWB \times ((PCFM/100) \times (PREFA/100) \times (PWAFWA/100)) + ((PCCM/100) \times (PRECO/100) \times (PWACO/100))$
ODWCHIP	Oven-dried weight of wood chip in finished board (kg/m ³) $ODWCHIP = ODWB - (RWFB + WAWFB)$
TRIMS	Trim loss in finished board (cm ² /m ³) $TRIMS = (67.19 \times ((BTLG \times FBLG) + (BTWD \times FBWD))) / FBTH$
FBSIZE	Size of finished board (cm ² /board) $FBSIZE = FBWD \times FBLG$
PTTO	% trim loss per board $PTTO = (ATRIMS / (FBSIZE + ATRIMS)) \times 100$
TMWT	Oven-dried weight of trims in finished board (kg/m ³) $TMWT = (SPGR \times TRIMS \times PBTH) / 1000$
WFINES	Oven-dried weight of sanding fines in finished board (kg/cm ³) $WFINES = ODWB \times (PLCHIP/100)$
PTMWT	% trim for a finished board $PTMWT = TMWT / SPGR \times 10$
PWFINES	% amount of fines for a finished board $PWFINES = WFINES / SPGR \times 10$
GWOO	Gross oven-dried weight of finished board (kg/m ³) $GWOO = 1000 \times SPGR + SPGR \times (PTMWT + PWFINES) / 10$
WFARE	Weight of face resin required to produce finished board (kg/m ³) $WFARE = GWOO \times (PCFM/100) \times (PREFA/100)$
WCORE	Weight of core resin required to produce finished board (kg/m ³) $WCORE = GWOO \times ((PCCM/100) \times (PRECO/100))$
TRESIN	Total weight of resin required to produce finished board (kg/m ³) $TRESIN = WFARE + WCORE$
WFAWAX	Weight of face wax required to produce finished board (kg/m ³) $WFAWAX = WFARE \times (PWAFWA/100)$
WCOWAX	Weight of core wax required to produce finished board (kg/m ³) $WCOWAX = WCORE \times (PWACO/100)$
TWAX	Total weight of wax required to produce finished board (kg/m ³) $TWAX = WFAWAX + WCOWAX$
TCRE	Total cost of resin to produce finished board (won/m ³) $TCRE = TRESIN \times CRESIN$
TCWAX	Total cost of wax to produce finished board (won/m ³) $TCWAX = TWAX \times CWAX$
TFWW	Total oven-dried weight of wood required to produce finished board (kg/m ³) $TFWW = GWOO - TRESIN - TWAX$
GWOD	Total oven-dried wt. of wood required for recovery of trims (kg/m ³) $GWOD = TFWW - (ODWB \times (RPFINES + RBFINES) / 100)$
RDWC	Total cost of wood to produce finished board (won/m ³) $RDWC = GWOD \times CCHIPW$
PTWAX	% amount of wax to resin $PTWAX = TWAX / TRESIN \times 100$
TGWD	amt. of green wood chip required to produce finished board (kg/m ³) $TGWD = GWOD \times (1.0 + (CHIPMC/100))$
DRYH	Calories required in dryer finished board (kcal/m ³) $DRYH = (GWOD \times (CHIPMC/100 - ODCHIP/100)) \times CALDRY$

(continued)

ROIL	Amount of oil required to produce finished board (l/m ³) ROIL = (DRYH - (ODWB × RPFINES/100 × CALFINES) + CALPRESS) / CALOIL
TCOIL	Cost of oil to produce finished board (won/m ³) TCOIL = ROIL × COIL
TCKW	Cost of electricity to produce finished board (won/m ³) TCKW = COKW × RKWFB
TNVC	Total manufacturing cost (won/m ³) TNVC = TCKW + (CALPRESS × COIL) / CALOIL + SPGR × ((1000 × 1.027 × CCHIPW) + COIL((0.001027 × CALDRY × (CHIPMC - ODCHIP) / CALOIL) - (10 × RPFINES × CALFINES) / CALOIL)) + SPGR × PTRESIN × ((10.27 × CRESIN) + (0.1027 × PTWAX × CWAX))
TPPB	Total daily production (m ³ /day) TPPB = ((79200 × PRSPEED/10) / (FBLG + 2 × BTWD)) × 2 × FBWD × FBLG × FBTH / 1000000
TSALES	Total sales value (won/day) TSALES = (TPPB / (FBWD × FBLG × FBTH)) × 1000000
NSALES	Net sales value (won/m ³) NSALES = TSALES / TPPB
PCON	Profit contribution to sales value (won/m ³) PCON = NSALES - TNVC
PCRA	Profit contribution ratio to sales value (%) PCRA = (PCON / NSALES) × 1000
SPGR	Specific gravity of finished board SPGR = ODWFB / 1000
MATMC	Mat moisture content (%) MATMC = (((GWOX × (1 + ODCHIP/100) + (TRESIN × PCFM / PFRE) + (TRESIN × PCCM / PCRE)) - (GWOD + TRESIN)) / (GWOD + TRESIN)) × 100
FBIB	Internal bond strength (kgf/cm ²) FBIB = -127.71 + 53.86 × SPGR + MATMC - 0.68 × PTRESIN - 72.19 × SPGR ² + 0.36 × SPGR × MATMC + 0.56 × PTRESIN ²
MOR	Modulus of rupture (kgf/cm ²) MOR = 2943.06 + 1121.94 × SPGR - 473.66 × MATMC - 76.28 × PTRESIN - 1108.43 × SPGR ² + 38.45 × SPGR × MATMC - 0.2 × MATMC ² + 13.4 × PTRESIN × SPGR + 37.78 × PTRESIN × MATMC - 16.08 × PTRESIN ²

전체 工程의 생산성, 완제품의 품질 그리고 가격 및 생산비용의 수학적 함수관계로 나타낼 수 있다. 純收益은 (총매출액 - 총생산비)이며, 총매출액은 단순히 (파티클보드의 單價 × 생산된 總枚數)를 계산함으로써 가능하게 된다.

따라서 最適化 모델도 다음의 수식 모형과 같이 완제품의 최소 품질기준을 만족시키면서, 동시에 생산비용 함수식을 最小化할 수 있어야 한다.

目的函數式 : Min. C(X)
 制約條件函數式 : Q(X) ≥ Q(0)
 X ≥ 0

여기서, X : 決定變數
 C(X) : 費用函數
 Q(X) : 品質函數
 Q(0) : 最低品質基準

파티클보드 제조공장에서 單位立方미터 보드 생산에 대한 生産費用函數는 투입된 목질원료비용, 접착제 비용, 왁스비용, 전기비용, 기름비용의 합으로 구성되며, 이들은 각각 決定變數와의 函數關係로 나타낼 수 있다.

또한 연구목적상 생산비용의 最小化를 위한 制約條件으로서 파티클보드의 기계적 성질중 휨강도와 박리강도를 最低品質基準로 선택하여 비중, 접착제 첨가량 및 매트함수율의 함수관계로 표현하였다(이 등, 1993). 최저 품질기준은 韓國工業規格 KSF 3104 파티클보드에 제시되어 있는 150 타입 보드의 조건인 휨강도 130kgf/cm²와 박리강도 2kgf/cm²을 적용하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 파티클보드 제조공장의 최적화 전산모델은 다음과 같이 目的函數式과 制約條件函數式으로 나타낼 수 있다. 수식함

수에 이용된 기호들은 표 2에 정의되어 있다.

目的函數式：

$$\begin{aligned} \text{Min. } C(X) &= \text{木材費用} + \text{接着劑費用} + \text{왁스費用} \\ &\quad + \text{기름費用} + \text{電氣費用} \\ &= \text{RDWC} + \text{TCRE} + \text{TCWAX} + \\ &\quad \text{TCOIL} + \text{TCKW} \\ &= \text{SPGR} \times ((1000 \times 1.027 \times \\ &\quad \text{CCHIPW}) + \text{SPGR} \times \\ &\quad \text{PTRESIN} \times ((10.27 \times \\ &\quad \text{CRESIN}) + (0.1027 \times \\ &\quad \text{PTWAX} \times \text{CWAX})) + \\ &\quad (\text{COIL} \times ((0.001027 \times \text{CAL-} \\ &\quad \text{DRY} \times (\text{CHIPMC} - \text{ODCHIP}) / \\ &\quad \text{CALOIL}) - (10 \times \text{RPFINES} \times \\ &\quad \text{CALFINES}) / \text{CALOIL})) + \\ &\quad \text{TCKW} + (\text{CALPRESS} \times \\ &\quad \text{COIL}) / \text{CALOIL} \end{aligned}$$

制約條件函數式：

$$\begin{aligned} \text{IB} &= -127.71 + 53.86 \times \text{SPGR} + 17.94 \times \\ &\quad \text{MATMC} - 0.68 \times \text{PTRESIN} - 72.19 \times \\ &\quad \text{SPGR}^2 + 0.36 \times \text{SPGR} \times \text{MATMC} - 0. \\ &\quad 06 \times \text{MATMC}^2 + 5.44 \times \text{PTRESIN} \times \\ &\quad \text{SPGR} - 1.33 \times \text{PTRESIN} \times \text{MATMC} + \\ &\quad 0.56 \times \text{PTRESIN}^2 \geq 130 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= 2943.06 + 1121.94 \times \text{SPGR} - 473.66 \times \\ &\quad \text{MATMC} - 76.28 \times \text{PTRESIN} - 1108. \\ &\quad 43 \times \text{SPGR}^2 + 38.45 \times \text{SPGR} \times \\ &\quad \text{MATMC} - 0.2 \times \text{MATMC}^2 + 13.4 \times \\ &\quad \text{PTRESIN} \times \text{SPGR} + 37.78 \times \\ &\quad \text{PTRESIN} \times \text{MATMC} - 16.08 \times \\ &\quad \text{PTRESIN}^2 \geq 2.0 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$0.6 \leq \text{SPGR} \leq 0.9$$

$$9.0 \leq \text{MATMC} \leq 21.0$$

$$6.0 \leq \text{PTRESIN} \leq 18.0$$

3. 전산모델의 構造와 計算 體系

파티클보드 製造工程에 있어서 각 변수들의 함수 관계와 最適化 모델은 제약조건을 가진 복잡한 非線型的 函數關係로 나타나게 된다. 따라서 이들의 함수관계를 풀고 최적 제조조건을 찾기위해 전산모델을 개발하였다. 전산모델은 개인용 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 Turbo Pascal을 사용하여 작성되었다.

본 연구에서 최종적으로 완성한 모델의 체계는

그림 2에 제시한 바와 같다. 그림 2에서 보는 바와 같이 전산모델은 크게 資料의 入力, simulation, 最適解 計算 및 解析의 4부분으로 구성되어 있다. 파티클보드 제조공정의 최적화 문제는 위의 4부분을 거치며 수식화된 형태로 轉換된 후 계산과정을 거쳐 풀리게 되는데 먼저 入力段階에서는 표 1에 나타난 자료를 입력해 줌으로써 시뮬레이션 모델로 넘어가게 된다.

시뮬레이션 모델은 그림 1의 파티클보드 제조공정에 따라 입력변수와 각 공정에서 발생하는 인자들과의 相互關係를 數式關係로 표현함으로써 파티클보드 제조공정을 數學的 函數關係로 전환시킨다. 이어 出力段階와 最適解 算出 모델 단계로 넘어가게 되는데 출력단계에서는 이들 함수관계를 풀어 초기치에 의한 제조공정에서의 파티클보드의 품질(휨강도와 박리강도)을 豫測하고 아울러 단위 입방미터의 보드를 생산하는데 요구되는 목질원료, 접착제, 왁스, 전기, 기름의 양과 비용을 계산한다. 또한 주어진 生産條件에서 단위입방미터 보드를 생산하는 경우의 생산 총매출액과 총생산비를 算出하여 純利益을 계산하여 출력한다.

한편, 최적해 산출 모델에서는 시뮬레이션 단계에서 출력되는 자료들이 수식화 과정을 거쳐 최적해 계산 모듈로 입력된다. 본 연구에서는 최적해 계산 모듈로 MINO를 이용하였으며, MINO는 GAMS(General Algebraic Modeling System) 환경에 의해 운용된다. 이어 GAMS 運用環境에서 제시된 최적해는 다시 出力段階로 넘어가 시뮬레이션 모델에서 제시되는 정보들과 동일한 내용의 최적해를 이해하기 쉬운 양식으로 해석해서 제시하게 된다.

電算모델의 適用

위에서 제시된 전산모델은 파티클보드 제조공정에서의 생산내역을 분석하여 생산비용을 最小로 할 수 있는 意思決定變數(보드의 비중, 접착제 첨가율 및 매트함수율)의 조합을 제시하게 된다. 따라서 이 연구에서는 전산모델의 適用例를 제시할 목적으로 생산경영에 영향을 줄 수 있는 可變因子들중(표 1)에서 (1) 칩의 시장구입가, (2) 접착제의 시장구입가 및 (3) 열압속도에 변화가 있을 경우 제품생산비용에 미치는 영향률

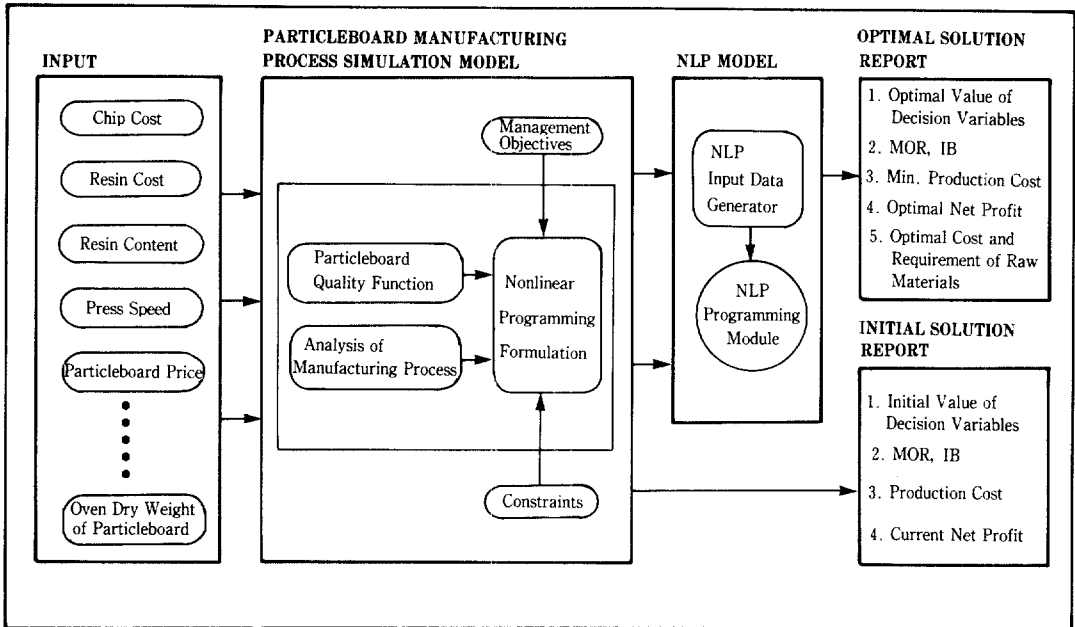


Fig 2. A diagram showing the structure of the computer model

분석하고 각 생산조건에 대하여 생산비용을 최소화하기 위한 最適解(optimal solution)를 算出하였다.

표 3의 상단부에는 生産單價의 感度分析을 위하여 세가지 변수들의 조합이 시나리오별로 구분되어 있다. 즉, 시나리오 1을 기준으로 하여 칩 가격이 하락한 경우가 시나리오 2, 점착제의 가격이 상승한 경우가 시나리오 3 그리고 열압속도를 올린 경우가 시나리오 4에 해당한다. 그 외에 표 1에 나타난 다른 입력인자들은 두께 15mm 파티클보드 생산에 요구되는 常數로 가정하여 계산하였다. 생산비용 계산은 可變費用만을 포함시켰으며 인건비 및 고정비, 감가상각비, 세금 등의 固定費用은 고려하지 않았다.

이와같은 經營條件下에 보드의 비중, 점착제 첨가율 및 매트함수율과 같은 意思決定變數들의 초기치를 각각 0.72%, 11.51% 및 9.20%로 하여 simulation한 결과가 표 3의 중간부에 제시되었다. 표 3의 하단부에는 각 시나리오에 따라 주어진 초기치에 의해 계산된 最適解와 最適化過程을 통해 줄어드는 生産費用의 減少를 보여주고 있다.

예로써 시나리오 1의 경우 최적해의 생산단가는 58,034원/m³로서 초기치에 의한 생산단가보

다 7,228원/m³의 비용이 절약될 수 있다. 따라서 기존 공장에서 15mm 파티클보드 1일 생산량을 369.3m³로 가정할 경우 1일 약 267만원의 생산비를 절감할 수 있다.

표 3에 의하면 意思決定變數들의 값들은 모든 시나리오에서 초기치에 비해 제품의 비중을 줄이는 대신 매트함수율 및 점착제 첨가량을 증가시키는 방향으로 最適解가 계산되었다. 이것은 단위 생산비용을 줄이기 위해 보드의 단위생산량당 가장 많은 비중을 차지하는 칩의 사용량을 줄이는 대신 휨강도 및 박리강도에 의한 制約條件들을 동시에 만족시키기 위하여 매트함수율 및 점착제 첨가량을 증가시키기 때문인 것으로 판단된다. 또한 모든 시나리오의 最適解에서 보드의 품질을 의미하는 휨강도와 박리강도는 制約條件에서 주어진 最低限界 값(휨강도=130kgf/cm²; 박리강도=2kgf/cm²)을 보였다. 이러한 현상은 생산비용을 最小化하기 위하여 품질의 최저한계를 요구하는 것으로 이해될 수 있다.

그 외에 시나리오 1의 입력자료들을 기준으로 하여 칩가격이 50원/m³에서 20원/m³으로 떨어지는 경우(시나리오 2), 점착제 가격이 240원/m³에서 250원/m³으로 상승하는 경우(시나리오 3)를 가정했을때 보드의 비중은 0.61이 그대로 유

Table. 3. The results of production cost analysis by scenarios.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
1. Scenarios				
Chip cost (won/kg)	50	20	50	50
Resin cost (won/kg)	240	240	250	240
Press speed (mm/sec)	130	130	150	130
2. Initial solutions				
〈Decision variables〉				
Specific gravity	0.72	0.72	0.72	0.72
Mat moist. cont. (%)	9.22	9.22	9.22	9.22
Resin content (%)	11.54	11.54	11.54	11.54
〈Prod. cost (won/m ³)〉	65,262	43,080	73,795	65,262
〈Daily prod. (m ³ /day)〉	369.3	369.3	369.3	426.2
3. Optimal solutions				
〈Decision variables〉				
Specific gravity	0.61	0.61	0.61	0.61
Mat moist. cont. (%)	14.91	15.24	15.03	14.91
Resin content (%)	12.44	12.39	12.42	12.44
〈Prod. cost (won/m ³)〉	58,034	39,185	65,838	58,034
〈Daily prod. (m ³ /day)〉	369.3	369.3	369.3	426.2
4. Reduction in production cost by optimization				
〈Unit cost s. (won/m ³)〉	7,228	3,895	7,957	7,228
〈Daily cost sav. (won)〉	2,669,300	1,438,423	2,938,520	3,080,573

지되는 반면 매트함수율 및 접착제 첨가율은 흡유비율이變動하고 있다. 이러한 현상의 구체적인 해석은 본 연구의 범위를 벗어나므로 차후의 파티클보드 生産工學 研究에서 밝혀지기를 기대한다.

한편 열압속도가 130mm/sec에서 150mm/sec로 증가하는 경우(시나리오 4)에는 最適解에 어느 정도의 영향을 줄 것으로 예상되었으나 본 연구결과에서는 그 영향이 없는 것으로 나타났다. 이것은 전산모델에서 사용한 實驗式과 관련된 것으로 앞으로 전산모델의 實用化를 위한 측면에서 새로운 연구에 의한 關係式을 도입해볼 필요가 있을 것이다. 그러나 열압속도의 증가는 前述한 바와 같이 最適解 계산에는 영향이 없으나 1일 생산량을 증가시키므로써 生産공장의 純利益 創出에 기여를 하게 된다(표 3)

結 論

본 연구는 파티클보드 製造工程의 最適化 電算 모델을 개발하고자 수행하였다. 전산모델은 파티클보드 제조공정을 simulation하여 非線型計劃法을 적용하기 위한 數式模型을 완성하게 되고, 또한 파티클보드 입방당 生産費用을 극소화 하는

最適解를 계산하게 된다.

따라서 이 연구에서 제시하는 電算모델은 파티클보드의 生産與件에 일어날 수 있는 변화에 합리적으로 대응할 수 있는 제조방침을 결정하기 위한 하나의 분석도구로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이 연구에서 제시한 모델을 기존 공장에서 生産經營分析에 이용하기 위해서는 각 공장의 自動化 生産工程에 적합한 힘강도나 박리강도의 推定式들로 대체하여 사용하여야 할 것이다.

引用 文 獻

1. 이필우·박희준·정주상. 1993. 3층 파티클보드의 기계적 성질 예측에 관한 연구. 목재공학. 심사중.
2. Bruce, R.W. 1976. COSTUDY: Practical management cost control. For. Prod. J. 26(4): 28-30.
3. Carino, H.F., and J.L. Bowyer. 1979. New tool for solving materials flow problems: A computer-based model for maximizing output at minimum cost. For. Prod. J. 29(10): 84-90.

4. Carroll, M., and D. McVey. 1962. An analysis of resin efficiency in particleboard. *Forest Products J.* 12(7) : 305-310.
5. Geimer, R.L., H.M. Montrey, and W.F. Lehmann. 1975. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. *Forest Products J.* 25(3) : 19-29.
6. Harpole, G.B. 1979. Economic models for structural flakeboard production. *For. Prod. J.* 29(12) : 26-28.
7. 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 Products J.* 42(5) : 12-18.
8. Ince, P.J., and G.B. Harpole. 1977. PARVCOST : A particleboard variable cost program. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. FPL-14.
9. 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.
10. Lehmann, W.F. 1970. Resin efficiency in particleboards as influenced by density, atomization, and resin content. *For. Pro. J.* 20(11) : 48-58.
11. ————. 1974. Properties of structural particleboards. *Forest Products J.* 24(1) : 19-26.
12. Lyon, D.E. and C.E. Thaggard. Use of computer simulation modeling to predict properties of oriented flakeboard. *Structural Wood Composites : New Technologies for Expanding Markets*, pp.14-18, 1988.
13. Suchsland, O and H. Xu. 1991. Model analysis of flakeboard variables. *Forest Products J.* 41(11/12) : 55-60.