

## 고무가류물의 경도 및 인장 특성에 대한 통계적 모델링

조 만 식<sup>†</sup> · 이 재 우 · 정 창 복\* · 고 진 환

\*전남대학교 공업화학과, 금호 기술연구소  
(1995년 7월 6일 접수)

## Statistical Modeling for Hardness and Tensile Properties of the Rubber Vulcanizates

Mansik Cho<sup>†</sup>, Jae-Woo Lee, Chang-Bok Chung\*, and Jin-Hwan Go

*\*Department of Chemical Technology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea  
Research & Development Center, Kumho & Co., Inc. Kwangju 506-040, Korea  
(Received July 6, 1995)*

**요 약 :** 타이어용 고무 가류물의 인장 및 경도 물성을 영향 인자로 선정하여, 각 인자의 변화에 따른 물성 변화에 대해 통계적 기법을 이용한 예측 시스템을 구축하였다. 58개의 순수한 인자와 6개의 반응 변수 (경도, 인장 강도, 50%-, 100%-, 200%-, 300%-모듈러스)에 대해 SAS 소프트웨어를 이용하여 상관 및 회귀 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 시스템은 고무 가류물 설계에 있어서 제조 및 시험을 실시하기 전에 미리 조성비에 따른 물성을 예측해 볼 수 있도록 조건 결과예측, 특성치의 일정범위 내에서의 트렌드분석 (trend analysis) 그리고 결과 분석을 GUI방식을 이용하여 구축하였다.

**Abstract :** Hardness and tensile properties were selected as effective factors for the rubber vulcanizates in a tire. Simulation system was built for physical properties as the change of each factors by using statistical methods. Correlation and regression analyses were performed by using SAS software for 58 actual factors and 6 variables of response; hardness, tensile strength, 50%-modulus, 100%-modulus, 200%-modulus, and 300 %-modulus. Simulation system is composed of 'Forecasting results', 'Trend analysis,' and 'Result analysis' with graphic user interface (GUI) in order to predict physical properties according to rubber vulcanizates' design before manufacturing and testing them.

**Keywords :** tensile and hardness properties, modeling, simulation system.

## 서 론

자동차의 성능에 크게 영향을 미치는 타이어의 내구력, 제동력 그리고 승차감 등은 타이어를 구성하는 고무층, 특히 트래드의 물성의 변화에 의해 좌우된다. 요구 물성에 맞는 고무 배합물을 만드는 배합 설계의 가장 큰 어려움은 고분자 물질인 고무의 점탄성 특성으로서, 배합 조성비와 가류 조건에

따라 고무 가류물의 물성이 매우 다양한 변화를 보인다. 실제 생산 현장에서 고무 배합물을 설계시 배합물의 요구 물성을 얻기 위해서 수회에 걸친 시행착오 방법에 의존하고 있기 때문에 배합 공정의 일시 정지에 따른 생산량 감소가 초래될 뿐만 아니라 배합물의 요구 물성을 안정적으로 유지하기도 어렵게 된다.

본 연구에서는 품질 및 생산성 향상에 영향을 미

치는 재료 인자(폴리머, 보강제, 공정 조제, 가류제 등) 그리고 공정 인자(가류 온도 및 가류시간)에 따른 고무의 점탄성 특성, 특히 인장 특성 및 경도에 대해 실험실 시험을 실시하고 그 결과를 이용하여 통계적 처리를 함으로써 그 상관성을 규명하기 위한 기초 자료를 마련하는데 주목적을 두고 있다. 이런 재료 인자 및 공정 인자를 이용하여 고무 조성물의 물성, 젖은 노면의 스키드저항(skid resistance), 마모 저항과 원재료(폴리머와 카본블랙)간의 상관관계를 분석하여 좋은 결과를 얻었으며,<sup>1</sup> 완제품 성능 상관성은 반제품의 물성과 관련하여 모델링에 대한 연구가 활발하다.<sup>2</sup> 특히 타이어의 회전 저항과 견인력과 관련된 탄델타, 경도, 반발 특성 등과 같은 물성에 대한 많은 연구를 하고 있다. 이와 같은 모델링을 통해 모델식을 구한 예를 기초로 하여 본 연구에서는 인장 시험기와 경도계를 이용하여 측정된 인장 강도, 모듈러스 및 고무 경도의 결과를 이용하여 2차 다중 회귀 모델링을 하였다. 또한, 시뮬레이션 시스템을 개발하여 조건 결과의 예측, 특성치의 트렌드 분석 및 결과 분석을 수치화와 그래프 화하여 시각화함으로서 고무 재료의 배합 사양(recipe)의 변화에 따라 물성을 예측할 수 있는 시스템을 구축하였다.

고무 산업에 있어서 통계적 방법의 도구로 상용 소프트웨어인 SAS를 이용한 내용으로, Evans<sup>3</sup>는 실리카의 종류와 첨가량의 변화에 따른 물성의 영향, Okel<sup>4</sup>은 실리카와 클레이(clay)의 첨가량에 따른 고무물성 변화를 예측할 수 있는 모델식을 구한 예가 있다. 그러나, 이들의 연구는 전제 원재료에 대하여 포괄적인 모델식을 적용하지 못한 단점이 있었다.

본 연구 결과는 고무 가류물의 물성을 사전에 예측할 수 있도록 하는 고무 재료 설계의 중요한 자료로서 활용할 수 있으며, 타이어 품질 및 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 실 험

인장 시험은 타이어를 구성하는 고무가 타이어

주행시 갖는 운동 메커니즘을 모사하기 위한 실험 실적 방법이다. 고분자 재료의 기계적 강도를 판정하는 시험법의 하나로서 시편에 일정한 인장 속도로 인장 하중을 가하여 파단시에 이르기까지 응력과 변형과의 관계를 규명하는 시험이다. 가류고무의 인장 강도는 시험중 시편의 단면적에 대하여 시편에 걸리는 최대 하중으로 표현한다. 모듈러스는 시편의 단면적에 대한 정해진 신장율 50, 100, 200, 300%로 인장시 시편에 걸리는 하중으로 표현하며 이를 아래 식으로 표현하였다.<sup>5</sup>

폴리머, 보강제, 공정조제 및 가류제를 정해진 가류온도와 시간에 따라 고무가류물을 제조하였다. 실험에 사용하는 시편은 아령형 3호로 ASTM D419-92의 표준에 따라 시험하였다.

$$T.S. = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (1)$$

$$M_i = \frac{F_i}{A_0} \quad (2)$$

$T.S.$  = 인장강도

$F_{\max}$  = 시편의 최대하중

$M_i$  = 특정 신장율에서의 모듈러스

$F_i$  = 특정 신장율에서의 하중

$A_0$  = 시편의 단면적

고무의 경도는 타이어의 마모 및 승차감에 밀접한 관계가 있으며 이를 정량화한 값으로 물리적 의미는 아직 명확하지는 않다. 경도의 측정은 일정 조건하에서 침상 indenter를 재료 표면에 눌렀을 때의 만입 깊이를 dial gauge로 측정한다.<sup>6</sup> 인장 시험 전의 시편을 이용하여 ASTM D2240-91의 시험 표준에 따라 실험하였다.

인장 강도 및 모듈러스는 텐손미터(Tensometer Model 6021, Instron Inc.)를 사용하여 구하고, 경도는 Shore A Type 경도계를 사용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

**통계적 모델링.** 인장 물성 예측 모델링에 사용된 통계 소프트웨어는 IBM사의 A/S (application system)와 SAS Institute Inc.의 SAS software를 이용하였다. 모델링과정에서 A/S는 호스트환경의 소프트웨어이지만 많은 양의 데이터를 처리할 경우 시스템의 부하로 인해 분석을 수행할 수 없어서 다중 선행 회귀 분석을 하였으며, 다중 비선형 회귀 분석은 workatation환경의 UNIX SAS를 이용하여 수행하였다.

데이터 확보는 호스트 데이터 베이스의 배합 사양과 인장 및 경도 시험 결과에서 취하였다. 얻은 데이터를 재료의 투입량, 재료의 특성 및 가류 조건으로 분류하기 위해 데이터를 변환하였다. 이 데이터 셋 (data set)을 통계적 처리하여 모델링 후 최종적으로 도출된 모델식을 SAS를 이용하여 예측 시스템을 구축하였다.

**샘플링 :** 데이터 샘플링을 위해 실험 관리 데이터 베이스의 배합 사양과 실험 조건 및 물성 결과를 데이터 화일로 만들었으며, 이의 물성 실험 결과는 경도, 인장 강도, 50%-, 100%-, 200%-, 300%-모듈러스를 종속변수로 하여 총 3700여건의 데이터를 얻었다.

만들어진 조건 및 결과 데이터 화일에서 관측치 (observation)가 50개 이하인 원재료와 시험 평가를 위한 시험용 재료는 실험 결과에 영향 인자로서 고려하기 어려우므로 삭제하였다.

본 연구에서 이용된 배합 사양은 폴리머의 경우 천연고무, 스타이렌 부타디엔 고무 그리고 부타디엔류 고무를 17종류 선정하였다. 보강제는 10종류를 선정하였는데, 보강제들을 대표할 수 있는 특성치로 요오드가 ( $I_2$ ), 디비피흡수가 (DBP), 틴트가 (tint)를 보강제의 특성치로 대체하여 독립변수로 적용하였다. 그 외에 화학 첨가제 및 가류제를 변수로 하여 58개의 변수를 선택하였으며, 또한 가류조건인 가류 온도와 가류시간이 독립변수로 첨가되었다. 독립변수로 사용되는 재료 인자 및 공정

**Table 1.** The Independent Variables of Materials and Process Factors

| Variable | Material name     | Variable | Material name        |
|----------|-------------------|----------|----------------------|
| C1       | Natural Rubber(a) | C4       | SBR(f)               |
| C1       | Natural Rubber(b) | C40      | Peptizer(a)          |
| C1       | Natural Rubber(c) | C41      | Peptizer(a)          |
| C1       | Natural Rubber(d) | C42      | Reinforcing Agent(a) |
| C10      | EPDM Rubber       | C42      | Reinforcing Agent(b) |
| C11      | SBR(a)            | C42      | Reinforcing Agent(c) |
| C12      | SBR(b)            | C42      | Reinforcing Agent(d) |
| C13      | SBR(c)            | C42      | Reinforcing Agent(e) |
| C14      | Bromobutyl Rubber | C42      | Reinforcing Agent(f) |
| C15      | Neoprene Rubber   | C42      | Reinforcing Agent(g) |
| C16      | BR                | C42      | Reinforcing Agent(h) |
| C17      | Butyl Rubber      | C42      | Reinforcing Agent(i) |
| C18      | Accelerator(a)    | C42      | Reinforcing Agent(j) |
| C19      | Accelerator(b)    | C42      | Reinforcing Agent(k) |
| C2       | SBR(d)            | C43      | Tackifier(a)         |
| C20      | Accelerator(c)    | C44      | Tackifier(b)         |
| C21      | Accelerator(d)    | C45      | Tackifier(c)         |
| C22      | Accelerator(e)    | C46      | Tackifier(d)         |
| C23      | Accelerator(f)    | C47      | Softener(a)          |
| C24      | Bonding Agent(a)  | C48      | Softener(b)          |
| C25      | Bonding Agent(b)  | C49      | Vulcanizer(a)        |
| C26      | Bonding Agent(c)  | C5       | SBR(g)               |
| C27      | Bonding Agent(d)  | C50      | Vulcanizer(b)        |
| C28      | Dusting Agent(a)  | C51      | Vulcanizer(c)        |
| C29      | Dusting Agent(b)  | C52      | Vulcanizer(d)        |
| C3       | SBR(e)            | C53      | Vulcanizer(e)        |
| C30      | Dusting Agent(c)  | C54      | Vulcanizing Temp.    |
| C31      | Dusting Agent(d)  | C55      | Vulcanizing Time     |
| C32      | Activator(a)      | C56      | Iodine Value         |
| C33      | Activator(b)      | C57      | DBP Value            |
| C33      | Activator(c)      | C58      | Tint Value           |
| C34      | Retarder          | C6       | SBR(h)               |
| C35      | Antidegradent(a)  | C7       | SBR(i)               |
| C36      | Antidegradent(b)  | C8       | SBR(j)               |
| C37      | Antidegradent(c)  | C9       | SBR(k)               |
| C38      | Antidegradent(d)  |          |                      |
| C39      | Wax               |          |                      |

인자는 Table 1에 수록하였다. 원재료중 화학적 성질이 거의 같아 물성에 미치는 영향이 동일하면 동일 영향 인자로 고려하여 하나의 변수로 대체하였다.

**다중 선행 회귀 분석 (Multi-Linear Regression) :** 데이터 샘플링에서 선정된 독립변수 (원재료 투입량, 보강제의 특성 인자, 가류조건)와 종속변수

(경도, 인장 강도, 50%-, 100%-, 200%-, 300%-모듈러스)를 선정하여 이들 변수간에 아래식과 같은 다중 선형 회귀 분석을 하였다.<sup>7</sup>

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{58} (\beta_i X_i) + \varepsilon \quad (3)$$

$Y$  : 종속 변수  
 $\beta_0, \beta_i$  : Regression Coefficients  
 $X_i$  : 독립변수  
 $\varepsilon$  : error term

종속변수가 여러개 존재하므로 회귀 분석 방식중 다중 결정 계수 ( $R^2$ )를 증가시킬 수 있는 방법으로 적합한 회귀 모델을 찾는 Stepwise 방법<sup>7</sup>을 이용하여 변수를 추가 또는 삭제하여 각 종속변수별 다중 회귀 모델을 만들었다. 도출된 회귀 모델의 유의성을 검증하기 위해 실측치와 예측치간의 잔차의 정규성을 검증하였다. 관측치의 제거수를 최소화하기 위해 잔차의 표준편차가  $\pm 3\sigma$  한계를 넘는 데이터 (outlier)는 제거하고 다시 적정 회귀 모델을 찾기 위해 반복 시행하였다. 이런 반복 분석을 통해 Fig. 1에서와 같이 반복 횟수가 증가함에 따라 조정된 다중 결정 계수 (adjusted  $R^2$ )는 증가함을 볼 수 있으며, Fig. 2에서는 회귀 모델의 표준편차는 감소하는 추세를 보였다. 이는 회귀 모델

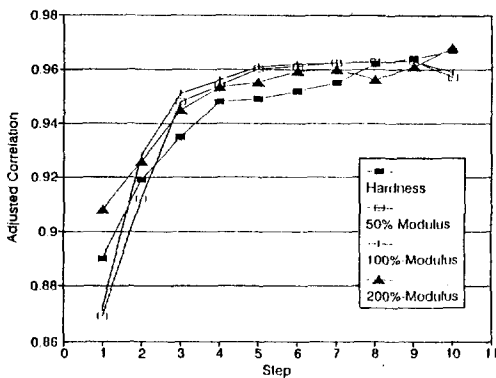


Fig. 1. Change of adjusted correlation by modeling step for the hardness and modulus.

의 설명력, 즉 원재료 투입량, 보강재의 특성 인자, 가류조건으로 인장 특성을 예측할 수 있음을 보여 준다.

회귀 모델의 정규성 및 타당성 유무를 알아보기 위해 회귀 모델의 왜도 (skewness) 및 첨도 (kurtosis)를 구하였다.<sup>8</sup> 왜도는 분포의 대칭 정도를 측정하는 추정량이며, 본 연구에서의 왜도는 Fig. 3에서와 같이 0으로 수렴함으로써 모델이 정규분포를 따르고 있음을 알 수 있고, 분포의 편평한 정도 또는 뾰족한 정도를 표현하는 첨도는 Fig. 4에서와 같이 3으로 수렴함을 볼 수 있다. 이와 같은 추정량을 통해 회귀 모델은 정규성을 갖고 있음을 알

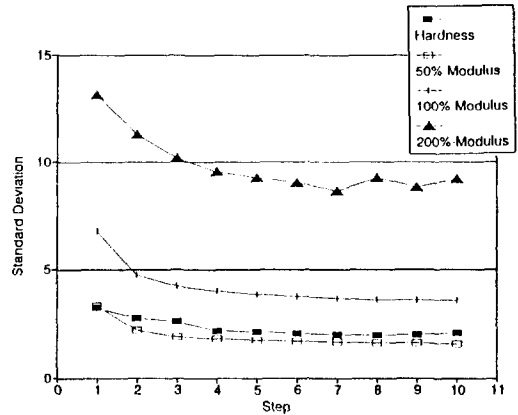


Fig. 2. Change of standard deviation by modeling step for the hardness and modulus.

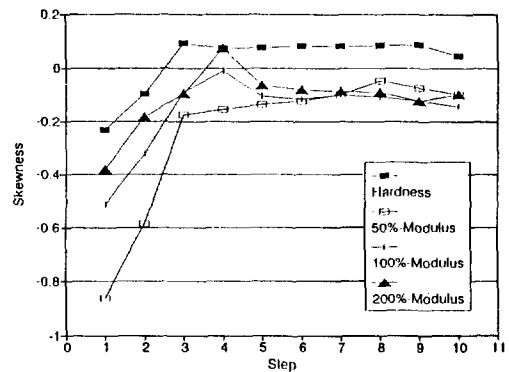


Fig. 3. Change of skewness by modeling step for the hardness and modulus.

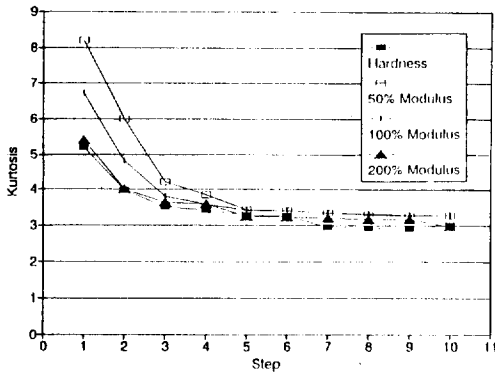


Fig. 4. Change of kurtosis by modeling step for the hardness and modulus.

Table 2. Statistics of Residual Analysis

|                  | Skewness | Kurtosis |
|------------------|----------|----------|
| Hardness         | 0.061    | 2.670    |
| Tensile Strength | 0.157    | 2.837    |
| 50 %-Modulus     | -0.110   | 2.799    |
| 100 %-Modulus    | -0.111   | 2.710    |
| 200 %-Modulus    | -0.089   | 2.772    |
| 300 %-Modulus    | -0.107   | 2.850    |

수 있다.

최종적으로 구축된 회귀 모델의 설명력 (adjusted  $R^2$ )은 인장 물성 및 경도에 대해 0.89~0.94를 갖는다.

최종 모델의 잔차의 정규성 검토를 위해서 각 종속변수들에 대한 잔차의 통계적 추정치인 왜도와 첨도를 Table 2에 수록하였다. 종속변수들의 잔차가 정규성을 나타내므로써 회귀 모델의 적용 가능함을 알 수 있다.

회귀 모델식의 전 관측치에 대한 적합성을 보기 위해 예측치와 실험치간의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 예측치와 실험치간의 차이가 작은 것을 볼 수 있다. IBM A/S를 이용하여 분석한 경도 및 인장 특성에 대한 회귀식의 변수들 및 그 변수에 대한 회귀 계수는 Table 3에 수록하였다.

**다중 비선형 회귀 분석(Multi-Nonlinear Regression):**  
A/S의 경우 독립변수간의 교호항 및 제곱항을 적

용하지 못하여 모델 내에 존재할 수 있는 교호작용을 고려하지 못한 단점을 가지고 있었다. 이런 문제점을 해결하기 위해 workstation환경의 SAS 소프트웨어를 이용한 회귀 모델 및 물성 예측 시스템을 구축하였다. A/S에서 적용된 데이터 화일을 SAS/LANGUAGE를 이용하여 SAS 데이터 화일로 전환후 각 변수를 제곱항과 변수들간의 교호항을 추가하여 1769개의 독립변수로 확장시켰다.<sup>9</sup> 이렇게 하여 얻어진 독립변수를 분석하여 아래식에 적용하여 모델식을 도출하였다.<sup>7</sup>

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{58} (\beta_i X_i) + \sum_{j=1}^{58} (\beta_j X_j^2) +$$

$$\sum_{k=1}^{57} (\beta_k X_{k-m-k+1} X_m) + \epsilon \quad (4)$$

$Y$  : 종속 변수

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  : Regression Coefficients

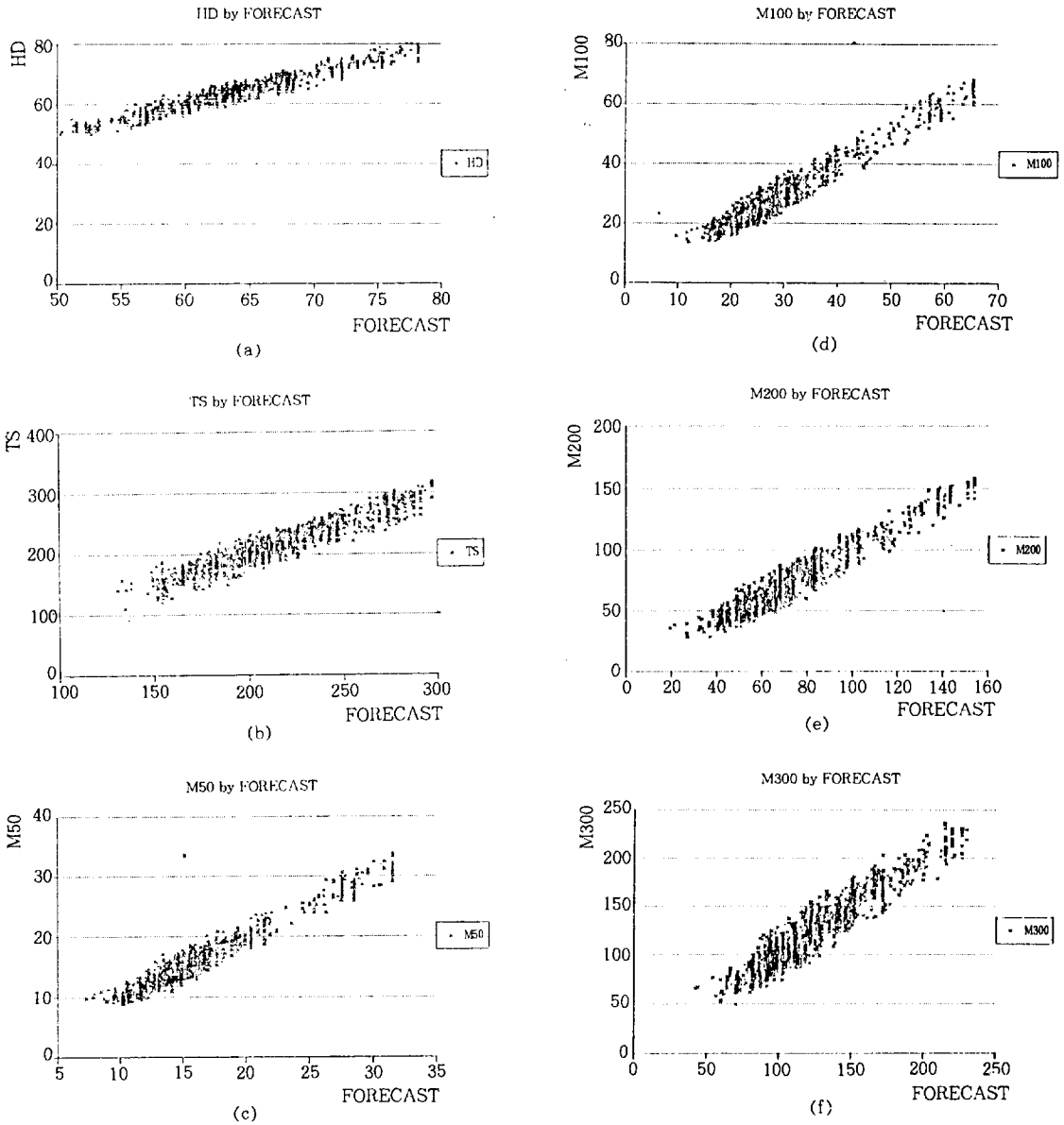
$X_i, X_j, X_k$  : 독립변수

$\epsilon$  : error term

회귀 모델의 도출은 stepwise방법에 의해 변수 선택을 하였으며, 모델을 검증 후 추출된 변수들에 대하여 회귀 분석을 반복해서 수행하였다. 회귀 분석에서 얻어진 독립변수들간의 다공선성(multicollinearity) 유무를 판단하기 위해 회귀 진단에서 condition index값이 각 조건별로 50을 기준으로 하여 독립변수를 제거하므로써 다공선성이 없는 회귀 모델을 설정하였다.<sup>8</sup>

잔차분석을 통해 모델에 대한 이상치(outlier)의 선별 기준으로 표준화 잔차인 student  $y_i$ 를 이용하여 절대값이 2 이하인 관측치만 취하여 회귀 분석을 실시하였다.

결과적으로 얻은 회귀식의 조정된 다중 결정 계수, 즉 회귀 모델의 설명력의 경우 경도는 0.93, 인장 강도는 0.91, 50%-모듈러스는 0.92, 100%-모듈러스는 0.92, 200%-모듈러스는 0.94 그리고, 300%-모듈러스는 0.81의 결과를 얻었다. 경도 및



**Fig. 5.** Plot of forecasting physical properties : (a) hardness, (b) tensile strength, (c) 50%-modulus, (d) 100 %-modulus, (e) 200%-modulus, and (f) 300%-modulus.

인장 특성에 대한 회귀식의 변수들 및 그 변수에 대한 회귀 계수는 Table 4~9에 나타내었다.

**회귀 모델의 검증 :** A/S를 이용한 모델링에서의 검증은 구축된 모델에 대해 예측치와 실험치를 비교, 분석하였으며, SAS를 이용한 모델링의 검증에

서는 실험실 시험을 통한 검증을 실시하였다. 이와 같은 실험실 시험을 통한 검증으로 모델식의 타당성이 인정되어야 완전한 회귀 모델식이 되며, 이런 모델식의 검증 절차를 근거로 하여 시뮬레이션 시스템을 구축하여 그 타당성을 갖도록 하였다. 검증

**Table 3.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equations

| Hardness  |                  | Tensile Strength |                  | 50%-Modulus |                  | 100%-Modulus |                  | 200%-Modulus |                  | 300%-Modulus |                  |
|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| Parameter | Parameter coeff. | Parameter        | Parameter coeff. | Parameter   | Parameter coeff. | Parameter    | Parameter coeff. | Parameter    | Parameter coeff. | Parameter    | Parameter coeff. |
| INTER.    | 43.374           | INTER.           | -2.613           | INTER.      | -2.613           | INTER.       | -11.362          | INTER.       | -25.239          | INTER.       | -7.222           |
| C2        | 0.020            | C1               | 0.036            | C4          | -0.086           | C2           | -0.029           | C1           | -0.030           | C6           | -0.248           |
| C3        | 0.032            | C2               | -0.152           | C7          | 0.010            | C3           | -0.040           | C2           | -0.088           | C11          | -0.508           |
| C11       | -0.105           | C4               | -0.434           | C8          | 0.010            | C4           | -0.194           | C3           | -0.096           | C16          | -0.383           |
| C71       | 0.018            | C6               | -0.470           | C9          | 0.026            | C6           | -0.052           | C4           | -0.515           | C19          | 17.617           |
| C72       | 0.015            | C7               | -0.713           | C11         | -0.076           | C9           | 0.023            | C6           | -0.163           | C20          | 17.810           |
| C73       | 0.039            | C8               | -1.053           | C16         | -0.011           | C11          | -0.165           | C7           | -0.048           | C21          | 18.437           |
| C4        | -0.090           | C9               | -0.744           | C18         | -1.108           | C16          | -0.071           | C11          | -0.411           | C23          | 21.581           |
| C16       | -0.020           | C11              | -0.145           | C19         | 1.804            | C19          | 4.224            | C16          | -0.287           | C24          | -13.946          |
| C18       | -2.685           | C16              | -0.982           | C20         | 1.863            | C20          | 3.984            | C19          | 10.332           | C26          | 9.754            |
| C19       | 2.671            | C18              | 42.695           | C21         | 1.877            | C21          | 4.443            | C20          | 11.721           | C27          | -34.097          |
| C20       | 2.349            | C23              | 38.389           | C24         | -2.186           | C24          | -4.686           | C21          | 12.232           | C31          | -0.347           |
| C21       | 2.263            | C24              | 4.162            | C26         | 2.107            | C27          | 4.390            | C23          | 16.239           | C32          | 1.272            |
| C26       | 1.243            | C31              | -0.930           | C27         | 1.816            | C31          | 3.276            | C24          | -12.775          | C33          | 1.415            |
| C31       | 0.231            | C35              | 2.355            | C31         | 0.069            | C32          | 0.089            | C26          | 10.207           | C34          | 14.891           |
| C32       | 0.297            | C38              | 3.229            | C32         | 0.193            | C33          | 0.331            | C27          | -12.610          | C35          | -2.073           |
| C33       | 0.266            | C39              | 3.710            | C33         | 0.138            | C34          | 0.218            | C33          | 0.873            | C37          | -4.563           |
| C34       | 3.205            | C41              | -4.881           | C34         | 1.594            | C35          | 4.135            | C34          | 7.165            | C38          | 3.750            |
| C35       | -0.333           | CB3              | -0.208           | C35         | -0.439           | C37          | -0.964           | C35          | -1.852           | C39          | -3.875           |
| C36       | -0.256           | CB4              | -0.140           | C37         | -0.355           | C38          | -1.332           | C37          | -3.725           | C40          | 21.252           |
| C37       | -0.724           | CB5              | 0.054            | C38         | 0.344            | C39          | 0.531            | C38          | 1.509            | C41          | -4.453           |
| C39       | -0.876           | CB6              | -0.839           | C39         | -0.585           | C41          | -1.055           | C39          | -2.427           | CB1          | 2.488            |
| C40       | -3.854           | CB8              | -0.953           | C41         | -0.235           | CB1          | 0.724            | C41          | -2.513           | CB3          | 2.305            |
| C41       | -0.334           | C43              | -6.961           | CB1         | 0.313            | CB3          | 0.691            | CB1          | 1.903            | CB4          | 1.890            |
| CB1       | 0.451            | C45              | -3.914           | CB3         | 0.292            | CB4          | 0.594            | CB3          | 1.798            | CB5          | 2.106            |
| CB3       | 0.435            | C47              | -1.825           | CB4         | 0.275            | CB5          | 0.657            | CB4          | 1.502            | CB6          | 2.078            |
| CB4       | 0.464            | C48              | -1.884           | CB5         | 0.303            | CB6          | 0.717            | CB5          | 1.664            | CB8          | 1.845            |
| CB5       | 0.507            | C50              | -9.965           | CB6         | 0.299            | CB8          | 0.599            | CB6          | 1.798            | CB9          | 2.319            |
| CB6       | 0.431            | C54              | -1.463           | CB8         | 0.255            | CB9          | 0.679            | CB8          | 1.536            | CB10         | 2.271            |
| CB8       | 0.366            | C55              | -0.295           | CB9         | 0.303            | CB10         | 0.658            | CB9          | 1.769            | C43          | -6.231           |
| CB9       | 0.481            |                  |                  | CB10        | 0.301            | C43          | -0.815           | CB10         | 1.686            | C45          | -4.648           |
| CB10      | 0.491            |                  |                  | C43         | 0.375            | C47          | -0.819           | C43          | -1.768           | C47          | -3.641           |
| C43       | -0.457           |                  |                  | C45         | -0.279           | C48          | -0.747           | C45          | -2.765           | C48          | -3.338           |
| C47       | -0.487           |                  |                  | C47         | -0.377           | C49          | 3.756            | C47          | -2.345           | C49          | 14.773           |
| C48       | -0.466           |                  |                  | C48         | -0.352           | C50          | 3.688            | C48          | -2.201           | C50          | 11.293           |
| C49       | 1.101            |                  |                  | C49         | 1.649            | C52          | 3.094            | C49          | 8.794            |              |                  |
| C50       | 0.935            |                  |                  | C50         | 1.529            | C55          | -0.015           | C50          | 9.392            |              |                  |
| C52       | 1.148            |                  |                  | C52         | 1.279            |              |                  | C52          | 6.667            |              |                  |
| C54       | -0.037           |                  |                  |             |                  |              |                  |              |                  |              |                  |

◆ CB1~CB10은 보강제의 특성인자로 적용하지 않고 보강제의 첨가량으로하여 분석하였음.

**Table 4.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (Hardness)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEPT | 46.3319          | C35C37    | -2.38972         |
| C9C9      | 0.0003           | C33C42    | 0.05557          |
| C8C16     | -0.0760          | C33C41    | 0.61637          |
| C7C20     | 0.0260           | C33C36    | -0.27114         |
| C6C6      | 0.0003           | C33C35    | -0.32583         |
| C52C54    | 0.0544           | C33       | -2.58937         |
| C50C56    | 0.0126           | C32C53    | 0.78427          |
| C5        | 0.2217           | C32C48    | -0.22510         |
| C4C9      | -0.0030          | C32C32    | 0.08595          |
| C4C42     | -0.0005          | C31C47    | 0.01412          |
| C4C41     | 0.0527           | C3        | -0.17257         |
| C4C32     | -0.0181          | C2C35     | 0.03192          |
| C4C20     | 0.0307           | C2C13     | -0.00370         |
| C48C53    | 0.3108           | C29C45    | 8.09264          |
| C48C52    | 1.6658           | C29C30    | 0.10101          |
| C47C58    | -0.0097          | C28C42    | 0.01460          |
| C47C56    | 0.0059           | C26C52    | 1.79306          |
| C47C55    | -0.0044          | C26C48    | -0.45938         |
| C47C49    | 0.0758           | C26C45    | 0.27041          |
| C47C47    | 0.0033           | C26C35    | 0.51937          |
| C46C55    | 0.1958           | C26       | 1.16917          |
| C46C50    | 1.2606           | C24C44    | -5.43228         |
| C45C56    | -0.0211          | C24C32    | -0.51478         |
| C45C54    | -0.0790          | C23C39    | 3.86459          |
| C45C48    | 0.0653           | C23C33    | -1.07577         |
| C45       | 12.7628          | C1C6      | -0.00352         |
| C43C46    | -0.2090          | C1C47     | -0.00126         |
| C42C52    | -0.1992          | C1C4      | -0.00132         |
| C42C46    | -0.0757          | C1C14     | 0.00110          |
| C42C42    | -0.0036          | C19C54    | -0.05398         |
| C42       | 0.5680           | C19C49    | 1.30360          |
| C41C57    | 0.0725           | C19C33    | 0.56547          |
| C41C54    | 0.0308           | C19C29    | 0.32191          |
| C41       | -16.0209         | C19       | 5.48872          |
| C3C47     | -0.0020          | C17C33    | -0.01931         |
| C3C42     | 0.0025           | C16C56    | -0.00028         |
| C3C33     | 0.02832          | C16C47    | -0.00231         |
| C39C45    | -0.41904         | C16C31    | 0.00920          |
| C38C52    | 2.15892          | C16C26    | 0.03356          |
| C38C48    | 0.83845          | C15C56    | 0.00134          |
| C36C56    | 0.00855          | C14C55    | -0.00130         |
| C36C48    | -0.07770         | C14C48    | -0.00707         |
| C35C57    | 0.03720          | C14C41    | 0.01190          |
| C35C47    | 0.11712          | C12C13    | 0.000829         |
| C35C45    | -0.43911         | C11C41    | -0.014850        |
| C35C42    | -0.07499         | C10C41    | -0.014719        |
| C35C38    | 0.79874          | C10C33    | 0.021341         |

**Table 5.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (Tensile Strength)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEPT | 1634.2170        | C2C42     | 0.0245           |
| C9C9      | -0.0032          | C2C41     | 0.0759           |
| C8C8      | -0.0106          | C2C35     | -0.2282          |
| C8C47     | -0.1860          | C2C33     | -0.0384          |
| C8C32     | 0.4515           | C29C39    | -4.8368          |
| C7C49     | -0.2641          | C26C49    | -4.0665          |
| C7C41     | 0.1899           | C26C43    | -0.9508          |
| C6C41     | 0.0926           | C25C41    | 6.2983           |
| C57C57    | -0.0011          | C24C55    | -0.2300          |
| C55C55    | 0.0024           | C24C50    | 4.7356           |
| C54C54    | 0.0499           | C24C42    | 0.3864           |
| C54       | -16.9901         | C24C38    | -15.4259         |
| C53C58    | -0.2355          | C24C36    | -10.9392         |
| C4C8      | -0.0395          | C22C57    | -3.3419          |
| C49C55    | -0.2501          | C22C56    | 2.3864           |
| C49C52    | -21.7676         | C20C57    | -0.3655          |
| C49C49    | -2.6534          | C20C42    | 0.5775           |
| C48C53    | 4.1512           | C20C41    | 5.1183           |
| C48C48    | 0.0891           | C20C37    | 48.9912          |
| C45C49    | -5.1215          | C1C56     | -0.0036          |
| C42C54    | 0.0073           | C1C55     | -0.0033          |
| C42C42    | -0.0175          | C1C50     | -0.1810          |
| C41C49    | 2.7982           | C1C49     | -0.1428          |
| C41       | -11.1459         | C1C4      | -0.0091          |
| C3C41     | 0.4990           | C1C33     | 0.0197           |
| C3C33     | 0.1158           | C1C3      | 0.0112           |
| C3C24     | -0.8175          | C1C1      | 0.0032           |
| C3C21     | 1.1793           | C19C50    | -7.0798          |
| C39C50    | 9.4425           | C19C49    | -6.0570          |
| C38C57    | 0.2704           | C19C42    | 0.3787           |
| C37C47    | -1.0809          | C19C33    | 5.1968           |
| C36C56    | 0.1256           | C19C19    | -13.2985         |
| C36C48    | -0.7072          | C19       | -12.2778         |
| C36C45    | -2.0797          | C17C58    | 0.0102           |
| C36C39    | 1.5571           | C17C48    | -0.3623          |
| C35C47    | 0.4899           | C16C50    | -0.2188          |
| C35C44    | -26.4828         | C16C42    | 0.0183           |
| C35C39    | -2.5118          | C16C38    | 0.6749           |
| C33C49    | 6.0859           | C16C33    | -0.1331          |
| C33C47    | -0.4040          | C16C31    | 0.06414          |
| C32C56    | 0.0520           | C16C19    | -0.25173         |
| C32C48    | -2.4143          | C16       | -1.02827         |
| C32C46    | -1.4016          | C14C58    | -0.01427         |
| C32C38    | -9.3316          | C14C42    | 0.01237          |
| C32C36    | -1.7938          | C14C41    | 0.08244          |
| C31C49    | -0.9562          | C11C41    | 0.18291          |
| C31C48    | 0.2366           | C10C58    | -0.01824         |
| C31C39    | -0.6046          | C10C41    | 0.10410          |
| C2C57     | -0.0050          | C10C33    | 0.24069          |
| C2C49     | -0.2345          | C1        | 0.46402          |
| C2C47     | -0.0212          |           |                  |

**Table 6.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (50 %-Modulus)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEPT | 13.2070          | C2C58     | 0.00223          |
| C9C9      | 0.0003           | C2C57     | 0.00226          |
| C6C6      | 0.0011           | C2C56     | -0.00268         |
| C6C56     | -0.0008          | C2C54     | -0.00150         |
| C5C32     | 0.1723           | C2C49     | 0.01438          |
| C54C57    | 0.0002           | C2C48     | -0.01067         |
| C50C56    | 0.0213           | C2C33     | -0.00783         |
| C50C50    | -0.3842          | C2C20     | 0.02193          |
| C50       | 2.0176           | C26C52    | 1.09424          |
| C4C35     | 0.0199           | C26C44    | -2.58330         |
| C4C33     | -0.0189          | C26C41    | 0.60853          |
| C47C56    | -0.0019          | C26C35    | 0.81757          |
| C47C55    | -0.0036          | C25C36    | -4.22405         |
| C46C47    | -0.2672          | C24C26    | -0.55740         |
| C45C54    | -0.0033          | C21C49    | 2.22636          |
| C41C50    | 1.3094           | C21C32    | -1.05386         |
| C3C41     | -0.2724          | C1C58     | -0.00034         |
| C3C38     | 0.1679           | C1C42     | 0.00027          |
| C39C58    | 0.01173          | C1C38     | 0.00811          |
| C39C54    | -0.01083         | C1C32     | 0.00516          |
| C38C49    | -2.01113         | C1C26     | 0.00981          |
| C38C41    | 0.92162          | C1C11     | 0.00237          |
| C37C50    | -1.50308         | C19C52    | -1.89429         |
| C36C55    | -0.01007         | C19C49    | 1.10702          |
| C36C41    | 0.12549          | C19C46    | 2.08880          |
| C35C54    | 0.01353          | C19C41    | -0.40058         |
| C35C47    | 0.09782          | C16C50    | -0.04064         |
| C35C42    | -0.07797         | C16C47    | -0.00248         |
| C33C54    | -0.01879         | C16C26    | 0.04253          |
| C33C49    | 0.25911          | C15C55    | -0.00970         |
| C33C42    | 0.05913          | C15C48    | 0.25995          |
| C32C53    | 0.48638          | C14C58    | -0.00047         |
| C32C48    | -0.19471         | C12C24    | 0.18793          |
| C31C52    | 0.24728          | C12C20    | 0.01303          |
| C31C45    | -0.05049         | C11C41    | -0.01927         |
| C31C41    | -0.08826         | C10C42    | -0.001810        |
| C31C36    | 0.09078          | C10C33    | 0.023293         |

**Table 7.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (100 %-Modulus)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEP  | 21.2755          | C33C37    | -0.6880          |
| C6C9      | -0.0040          | C32C52    | -7.2552          |
| C6C19     | 0.0700           | C32C48    | -0.4829          |
| C5C32     | 0.2918           | C31C35    | -0.0990          |
| C56C57    | 0.0021           | C30C33    | 0.6411           |
| C56C56    | -0.0021          | C2C50     | 0.0882           |
| C52C52    | 4.3594           | C2C49     | 0.0406           |
| C50C56    | 0.0215           | C2C42     | 0.0013           |
| C4C56     | 0.0008           | C2C33     | -0.0405          |
| C4C33     | -0.0457          | C26C56    | 0.0402           |
| C48C52    | 2.3448           | C26C44    | -5.4343          |
| C47C57    | -0.0037          | C26C35    | 0.8803           |
| C47C55    | -0.0085          | C24C38    | -3.7721          |
| C45C54    | -0.0087          | C1C58     | -0.0016          |
| C42C50    | 0.0797           | C1C56     | 0.0015           |
| C42C49    | 0.0521           | C1C54     | -0.0007          |
| C41C50    | 2.2860           | C1C52     | 0.0511           |
| C3C41     | -0.3327          | C1C42     | 0.0019           |
| C3C38     | 0.3046           | C1C38     | 0.0617           |
| C3C35     | 0.4781           | C1C19     | 0.0226           |
| C39C47    | -0.0895          | C19C49    | 2.1947           |
| C38C52    | 10.0052          | C19C46    | 1.3111           |
| C38C49    | -4.1921          | C19C41    | -0.8319          |
| C35C58    | -0.0353          | C19C25    | -17.5258         |
| C35C47    | 0.2064           | C16C56    | 0.00144          |
| C35C42    | -0.1997          | C16C54    | -0.00151         |
| C35       | 10.5109          | C14       | -0.10939         |
| C33C54    | -0.0158          | C12C12    | 0.00043          |
| C33C50    | -0.6134          | C10C16    | -0.00253         |
| C33C42    | 0.0946           |           |                  |

**Table 8.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (200 %-Modulus)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEPT | 98.4239          | C2C57     | 0.01170          |
| C8C55     | -0.0020          | C2C56     | -0.01166         |
| C8C39     | 0.1066           | C2C55     | 0.00639          |
| C6C6      | 0.0048           | C2C49     | 0.16157          |
| C6C57     | -0.0045          | C2C48     | -0.18784         |
| C6C19     | 0.1920           | C2C47     | -0.00710         |
| C5C5      | 0.0087           | C2C45     | 0.15207          |
| C56C56    | -0.0013          | C2C42     | 0.00953          |
| C50C54    | 0.0687           | C2C33     | -0.05374         |
| C4C57     | 0.0049           | C2C29     | 1.29064          |
| C4C47     | 0.0135           | C2C2      | 0.00222          |
| C4C42     | -0.0133          | C26C57    | 0.17589          |
| C4C4      | 0.0032           | C26C42    | -0.19739         |
| C4C33     | -0.0979          | C26C41    | -3.94483         |
| C4C16     | 0.0069           | C25C41    | 1.89157          |
| C49C49    | -0.9702          | C24C43    | -2.34847         |
| C47C55    | -0.0289          | C24C38    | -8.23739         |
| C47C50    | -0.3279          | C24C35    | 2.68720          |
| C46C48    | -0.1705          | C23C33    | 1.48701          |
| C45C54    | -0.2983          | C21C49    | 4.24415          |
| C45       | 41.7021          | C20C37    | 8.49305          |
| C44C44    | 9.6323           | C2        | -2.47619         |
| C42C47    | -0.0166          | C1C52     | 0.0699           |
| C41C56    | 0.0532           | C1C42     | 0.0060           |
| C41C50    | 2.5185           | C1C38     | 0.1341           |
| C41C47    | 0.1557           | C1C32     | 0.0336           |
| C41       | -7.0059          | C19C52    | -21.0868         |
| C3C48     | -0.0346          | C19C50    | 2.5855           |
| C3C35     | 1.5619           | C19C49    | 4.3440           |
| C3C26     | 0.3099           | C19C43    | 5.8931           |
| C3C19     | 0.3862           | C19C38    | -14.8905         |
| C39C52    | 14.9747          | C19C36    | -3.0303          |
| C39C49    | 2.9960           | C19C33    | 2.9345           |
| C39C47    | -0.2155          | C19C25    | -52.8630         |
| C39C41    | -1.5301          | C19       | -8.4266          |
| C38C49    | -14.2694         | C17C55    | -0.0048          |
| C37C39    | -7.89969         | C16C58    | 0.0097           |
| C35C56    | -0.05099         | C16C57    | -0.0108          |
| C35C52    | 5.47302          | C16C55    | 0.0037           |
| C35C47    | 0.39602          | C16C44    | 2.4577           |
| C35C42    | -0.12438         | C16C42    | -0.00701         |
| C35C38    | 3.95790          | C16C35    | 0.09196          |
| C33C54    | -0.10665         | C16C19    | 0.12901          |
| C33C49    | 2.36367          | C15C56    | 0.02416          |
| C33C44    | -8.17864         | C14       | -0.41716         |
| C33C42    | 0.30229          | C13C56    | -0.00081         |
| C32C48    | -1.18020         | C10C30    | 0.06708          |
| C32C39    | -0.96949         | C10C16    | -0.00799         |
| C31C41    | -0.15265         | C1        | -0.48240         |
| C2C58     | 0.01308          |           |                  |

**Table 9.** Parameters and Coefficients of Regression Model Equation (300 %-Modulus)

| Parameter | Parameter coeff. | Parameter | Parameter coeff. |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| INTERCEPT | 75.725           | C2C56     | -0.0086          |
| C54       | -0.490           | C2C55     | 0.0134           |
| C50C58    | 0.170            | C2C48     | -0.1464          |
| C50C57    | 0.143            | C2C42     | 0.0085           |
| C50C55    | -0.212           | C2C33     | -0.1848          |
| C50C54    | -0.666           | C29C45    | 80.2417          |
| C50       | 119.644          | C29C38    | -1.4303          |
| C4C54     | 0.008            | C26C43    | -9.2225          |
| C4C45     | -0.216           | C26C41    | -3.5594          |
| C4C42     | -0.021           | C24C56    | -0.3217          |
| C49C49    | -7.358           | C24C41    | 9.2632           |
| C47C55    | -0.056           | C24C38    | -18.0630         |
| C45C49    | -3.615           | C24C33    | 4.5661           |
| C45C48    | -0.195           | C24C32    | -5.8913          |
| C43C47    | 3.128            | C24C26    | 14.6869          |
| C42C49    | 0.513            | C23C29    | 17.9951          |
| C42C47    | -0.015           | C1C38     | 0.1023           |
| C42C42    | -0.021           | C1C33     | -0.0348          |
| C42       | 2.7819           | C1C32     | 0.0426           |
| C41C43    | -4.4676          | C1C3      | 0.0122           |
| C3C44     | -0.9094          | C19C50    | -17.6535         |
| C3C41     | 0.2311           | C19C46    | -6.3995          |
| C3C26     | -2.1818          | C19C45    | 9.4631           |
| C38C49    | -21.0634         | C19C33    | 5.97393          |
| C35C56    | -0.1381          | C19C19    | -8.94257         |
| C33C50    | -5.3944          | C17C48    | -0.03743         |
| C33C49    | 2.6336           | C16C57    | -0.00464         |
| C33C42    | 0.1315           | C16C38    | 0.59869          |
| C32C48    | -1.8896          | C14C33    | -0.41346         |
| C32C41    | -2.6115          | C14C14    | 0.00952          |
| C2C57     | 0.0077           | C13C20    | -0.14734         |

실험은 임의의 11개 배합 사양을 선정하여 배합, 가류 및 인장 시험과 경도 시험 결과치와 본 연구에서 구축된 회귀모델식에 의한 예측치를 Table 10에 비교하였으며, 그들간의 차를 함께 비교하였다. Table에서 보는 바와 같이 50%-모듈러스는 일부 샘플에서 그 정확도가 떨어짐을 볼 수 있었으나 그 외의 물성에서는 편차가 크게 나타나지 않음을 볼 수 있다. 특히, 경도의 경우에는 회귀 모델의 정확성이 높음을 볼 수 있다. 인장 강도, 100%, 200%, 300%-모듈러스 역시 큰 오차를 보이지 않았다. 이와 같은 분석 결과를 토대로 모델식의 타당성을 볼 수 있었으며 이 회귀모델식으로 예측 시스템을 SAS/AF의 FRAME과 SCL을 이용하여 시스템을 구축하였다.<sup>10</sup>

**예측 시스템 (Simulation System) 구축.** 도출해 낸 인장 물성 회귀 모델식을 이용한 물성 예측

시스템의 개발은 SAS 소프트웨어의 BASE SAS, SAS/STAT, SAS/GRAPH, SAS/AF를 이용하여 구축하였다. 예측 시스템은 첫째로 원하는 고무 배합물에 대한 원재료 투입량, 보강제의 특성 인자, 가류조건(독립변수)을 선정하여 그 조건값을 입력하면 고무배합물이 갖는 경도, 인장 강도, 50%, 100%, 200%, 300%-모듈러스(종속변수)의 예측 결과를 화면에 나타나게 하는 '조건 결과 예측'이 있다. 두번째로 고무 배합물에서 변량하고 하는 2가지 재료에 대한 물성변화를 3차원 그래프와 반응 표면 분석의 결과를 통해 화면에 나타나게 하는 '트렌드 분석'이 있다. 그리고, 마지막으로 3가지 원재료에 대한 변량 범위에서 갖는 최대 최소의 물성을 화면에 수치화 하여 나타내는 '결과 분석'이 있으며, 이상과 같은 예측 시스템은 3가지 화면 체계로 구성되어 있다. 각 화면 운영의 체

**Table 10.** Experimental and Forecasting Results of Regression Model Equations

| No | H'd | F_H'd | T.S.  | F_T.S. | 50 %-Mod. | F_50 %-Mod. |
|----|-----|-------|-------|--------|-----------|-------------|
| 01 | 64  | 67    | 196.9 | 197.7  | 12.7      | 13.9        |
| 02 | 65  | 67    | 205.5 | 199.1  | 12.3      | 13.8        |
| 03 | 72  | 69    | 221.9 | 204.7  | 6.8       | 14.4        |
| 04 | 65  | 65    | 217.1 | 208.0  | 4.9       | 11.5        |
| 05 | 66  | 66    | 222.2 | 209.0  | 5.3       | 12.6        |
| 06 | 65  | 67    | 206.6 | 209.3  | 5         | 12.2        |
| 07 | 60  | 62    | 168.0 | 183.0  | 13.6      | 15.0        |
| 08 | 68  | 68.9  | 221.4 | 202.4  | 13.5      | 16.9        |
| 09 | 69  | 69    | 214.6 | 192.0  | 14        | 14.1        |
| 10 | 68  | 68    | 217.1 | 197.5  | 13.3      | 14.1        |
| 11 | 67  | 66    | 300.8 | 269.7  | 19.2      | 17.3        |

| No | 100 %-Mod. | F_100 %-Mod. | 200 %-Mod. | F_200 %-Mod. | 300 %-Mod. | F_300 %-Mod. |
|----|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| 01 | 20.7       | 21.30        | 51.6       | 55.3         | 96.70      | 104.6        |
| 02 | 20.3       | 21.33        | 51.8       | 55.3         | 98.10      | 104.6        |
| 03 | 26.9       | 22.26        | 70.0       | 74.9         | 124.8      | 130.7        |
| 04 | 20.4       | 17.80        | 56.5       | 56.6         | 109.1      | 94.30        |
| 05 | 20.4       | 20.30        | 54.5       | 46.5         | 103.1      | 106.2        |
| 06 | 21.4       | 20.70        | 58.7       | 53.9         | 111.5      | 109.7        |
| 07 | 25.5       | 26.00        | 65.2       | 59.0         | 121.2      | 107.0        |
| 08 | 23.3       | 27.40        | 65.3       | 71.1         | 124.0      | 125.3        |
| 09 | 22.2       | 19.23        | 56.0       | 54.4         | 107.1      | 98.60        |
| 10 | 21.4       | 21.50        | 54.9       | 52.7         | 106.2      | 94.40        |
| 11 | 35.8       | 33.70        | 90.6       | 80.1         | 160.0      | 154.4        |

\* H'd : Experimental results (Hardness), F\_H'd : Forecasting results (Hardness).

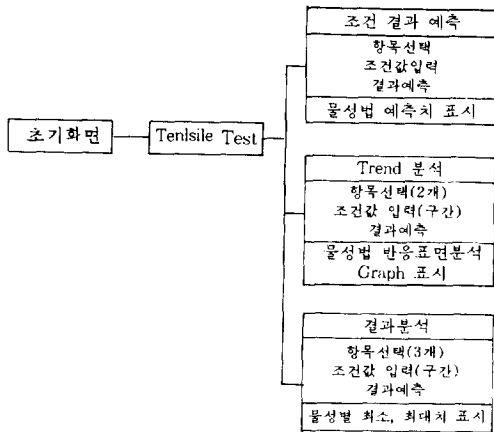


Fig. 6. Flow chart of screen in the simulation system.

계도를 Fig. 6에 나타내었다. 구축된 시스템은 사용자의 효율성을 증대하기 위해 GUI방식에 의해 시스템의 운용을 극대화하였다.

## 결 론

이상과 같이 인장 물성 실험과 그 결과를 이용한 다중회귀모델링과 물성 시뮬레이션, 그리고 시뮬레이션 시스템을 구축해 봄으로써 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) A/S 소프트웨어를 이용한 다중 선형 회귀 분석(Stepwise method)으로 도출해 낸 회귀 모델의 설명력은 89~94 %의 높은 값을 얻었으나, 각 조건별 선형 관계만 분석하였기 때문에 다중 결정 계수( $R^2$ )값이 높더라도 교호항 또는 제곱항을 회귀 모델에 적용하지 못한 단점이 있다.

2) SAS 소프트웨어를 이용한 다중비선형회귀 분석 결과 회귀 모델의 설명력이 경도, 인장 강도, 50%-, 100%-, 200%-모듈러스는 91%~93%, 300%-모듈러스는 81%를 보여주었다. 회귀 모델

의 다중 결정 계수가 충분히 높지 않더라도 회귀 모델에 교호 또는 제곱항을 추가하여 분석할 수 있다는 장점이 있다.

3) 물성 시뮬레이션 후 검증을 위해 임의의 배합 사양에 대한 물성실험결과와 시스템에 의한 결과를 비교한 결과 50%-모듈러스를 제외하고는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

4) SAS 소프트웨어를 이용하여 얻은 회귀 모델을 이용하여 시뮬레이션 시스템을 개발하여 조건 결과의 예측, 특성치의 트렌드 분석 및 결과 분석을 수치화와 그래프 화로 시각화함으로써 고무 재료의 배합 사양 변화에 따른 물성을 예측할 수 있는 시스템을 구축하였다.

## 참 고 문 헌

1. J. H. Lane., C. A. McCall, and P. F. Gunberg, *Rubber Chem. Technol.*, **43**, 1070 (1970).
2. P. Kainradl and G. Kaufmann, *Rubber Chem. Technol.*, **45**, 1 (1972).
3. L. R. Evans and W. H. Waddell, Presented at the 143rd Meeting of the Rubber Division, ACS (May 1993).
4. T. A. Okel and W. H. Waddell, *Rubber Chem. Technol.*, **67**, 217 (1972).
5. 한국 고무 학회편, "기초 고무 기술", p. 332 (1983).
6. 高分子學會, 高分子 辭典編集委員會, "新版高分子 辭典", 朝倉書店, 1988.
7. 이영준, "SPC/PC ++ 를 이용한 多變量分析", 圖書出版 石井, 1993.
8. 김충련, "SAS라는 통계상자", 데이터리서치, 1994.
9. SAS Institute Inc., SAS/STAT User's Guide Release 6.09, Cary, NC, 1990.
10. SAS Institute Inc., SAS/AF Software Release 6.09, Cary, NC, 1990.