한국기계가공학회지, 제18권, 제11호, pp.69～75(2019.11) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 11, pp.69~75(2019.11) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2019.18.11.069

분산분석을 이용한 오일씰 고무 배합에 관한 연구

윤현철*, 최주용**,#

*경성대학교 메카트로닉스공학과, **경성대학교 기계메카트로닉스공학부

A Study on Oil-Seal Rubber Mixing Using ANOVA

Hyun-cheol Yoon*, Ju Yong Choi**,#

*Department of Mechatronics Engineering, Kyungsung Univ.

**School of Mechanical&Mechatronics Engineering, Kyungsung Univ.

(Received 20 August 2019; received in revised form 1 September 2019; accepted 11 September 2019)

ABSTRACT

Oil seals have a great effect on transmission performance and durability. In this study, the optimal rubber mix was derived using dispersion analysis to obtain excellent oil-seal rubber properties. ANOVA was performed twice. The factors were polymers, carbon, magnesium oxide, and calcium hydroxide, which were used as four factors in ANOVA. The response factors were four items (hardness, tensile strength, elongation rate, and compression deformation) obtained through an experiment with a confidence level of 95%. In the first ANOVA, 168 tests were performed, and in the secondary ANOVA, 24 physical tests were conducted using polymers and carbon derived from the primary ANOVA. Through the ANOVA, we derived a rubber mixture recipe.

Key Words : ANOVA(분산분석), Oil-Seal(오일씰), Rubber Mixing(고무배합), Design of Experiment(실험계획법)

1. 서 론

오일씰은 트랜스미션과 샤프트 사이에 장착되어 오일 또는 그리스의 누유 방지, 외부로부터 먼지 등의 오염물질 차단, 일정한 장력에 의해 샤프트에 밀착하여 회전력을 유지하면서 Sealing 기능을 수행, 샤프트와 오일씰 사이에 볼록 형상의 유막을 형성해 내부 오일과 외부 공기를 차단 등 여러 역할을 한다. 오일씰과 샤프트의 접속 불량으로 오일이 외부로 유출되면 윤활 및 냉각 작용을 하지 못하므로 상위제품(트랜스미션, 샤프트 등)의 성능과 내구성에 지대한 영향을 미친다. 따라서 오일씰의 성능을 위한 고무 소재에 대한 연구가 중요하다. 고무는 제법 및 첨가제에 따라 고무물성이 달라지기 때문에 용도에 맞는 고무제품을 개발하기 위한 고무 배합에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

Park 등[1]은 아민계 분산제가 실리카 고무배합물의 물성에 미치는 영향에 대해 연구, Park 등[2]은 천연고무 배합물에서 가교형태 변화가 물성에 미치는 영향에 대한 연구, Park 등[3]은 실리카 및 카본블랙이 충전된 천연고무 가황물에서 배합방법이 파열특성에 미치는 영향에 대한 연구, Lee 등[4]

Corresponding Author : jychoi@ks.ac.kr
Tel: +82-51-663-4695, Fax: +82-51-626-4773

Copyright Ⓒ The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 유연벽면 점탄성 소재 배합비와 저항저감 효과의 상관관계에 대한 연구를 수행했다.

본 논문에서는 분산분석을 이용하여 오일씰용 고무 배합비에 대한 연구를 진행하였다.

2. 오일씰용 고무 배합비에 대한 분산분석(1차)

2.1 분산분석 조건

1차 시험에서 중합체 및 배합 약품은 단일 종류를 사용하였다. 중합체 7종, 탄소 6종, 산화마그네슘 2종, 수산화칼슘 2종을 가황제 1종을 사용하여 168회 물성시험을 진행했으며, 결과로는 경도, 인장강도, 연신율, 압축변형 4가지 항목으로 두었다.

이에 따라 1차 분산분석의 인자는 1종만을 사용한 가황제를 제외한 중합체(A), 탄소(B), 산화마그네슘(C), 수산화칼슘(D)으로 4개이고, 각 인자들의 수준은 A=7, B=6, C=2, D=2이다. 반응인자는 물성시험 결과로 얻은 경도, 인장강도, 연신율, 압축변형 4개이고, 분산분석 신뢰수준은 95%를 기준으로 삼았다.

2.2 사원배치실험 분산분석

경도에 대한 분산분석표는 Table 1과 같다.

A, C는 신뢰수준 95%에서 유의하며, $A\times C$는 신뢰수준 90%에서 유의하다. 나머지 유의하지 않은 인자들은 오차항에 풀링하였다.

1차로 풀링된 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A, C가 유의하고, $A\times C$의 유의확률은 94.1%로 오차항에 풀링하였다.

2차로 풀링된 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 주효과 A, C가 유의하였고, 점추정 계산 결과 A_1C_2가 가장 높은 경도 값을 갖는 것으로 나타났다.

A_1C_2의 95% 신뢰구간은 72.809 ~ 74.631이며 이를 만족하는 조합은 다음과 같다.

$$A_1B_1C_2D_2,\ A_1B_3C_2D_1,\ A_1B_3C_2D_2,\ A_1B_4C_2D_1,$$
$$A_1B_4C_2D_2,\ A_1B_5C_2D_1,\ A_1B_6C_2D_1$$

인장강도에 대한 분산분석표는 Table 2와 같다.

신뢰수준 95%에서 A와 $B\times D$가 유의하며, 신뢰수준 90%에서$A\times B$가 유의하다.

1차로 풀링된 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $A\times B$, $B\times D$가 유의며, 점추정 계산 결과 $A_1B_3D_2$가 가장 높은 인장강도 값을 가진다.

$A_1B_3D_2$의 95% 신뢰구간은 110.457 ~ 135.543이며 이를 만족하는 조합은 다음과 같다.

$$A_1B_3C_1D_2,\ A_1B_3C_2D_2$$

연신율에 대한 분산분석표는 Table 3과 같고, 분산분석 결과 전체 실험모델이 신뢰수준 95%에서 기각치 1.676보다 작아 유의하지 않고 유의확률은 0.651로 0.05보다 확연히 크므로 귀무가설이 성립된다. 유의한 인자는 주효과 A인자 하나라 임의의 수준조합이 성립되지 않아 연신율에 관하여 최적배합조건을 찾는 것은 무의미하다.

압축변형에 대한 분산분석표는 Table 4와 같고, A와 $A\times D$, $B\times D$가 신뢰수준 95%에서 유의하며, $A\times B$의 경우 신뢰수준 90%에서 유의하다.

1차로 풀링한 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $A\times D$, $B\times D$가 유의하며, $A\times B$의 경우 유의하지 않으므로 오차항에 풀링한다.

2차로 풀링한 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $A\times D$, $B\times D$가 유의하며, 점추정 계산 결과 $A_2B_1D_1$가 가장 낮은 압축변형 값을 가진다.

$A_2B_1D_1$의 95% 신뢰구간은 14.929 ~ 19.071이며 이를 만족하는 조합은 다음과 같다.

$$A_2B_1C_1D_1,\ A_2B_1C_2D_1$$

3. 오일씰용 고무 배합비에 대한 분산분석(2차)

3.1 분산분석 조건

1차 분산분석을 통해 중합체 2종과 탄소 3종을 선정하였고, 산화마그네슘과 수산화칼슘은 1차 분산분석 조건과 같은 2종씩을 사용하였다. 중합체,

Table 1 Result of ANOVA (Hardness)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	133.726	6	22.288	5.091**	2.421	3.473
B	9.405	5	1.881	0.430	2.534	3.699
C	44.024	1	44.024	10.056**	4.171	7.562
D	0.595	1	0.595	0.136	4.171	7.562
$A\times B$	121.345	30	4.045	0.924	1.841	2.386
$A\times C$	53.560	6	8.927	2.039	2.421	3.473
$A\times D$	6.321	6	1.054	0.241	2.421	3.473
$B\times C$	11.833	5	2.367	0.541	2.534	3.699
$B\times D$	17.119	5	3.424	0.782	2.534	3.699
$C\times D$	0.024	1	0.024	0.005	4.171	7.562
$A\times B\times C$	102.083	30	3.403	0.777	1.841	2.386
$A\times B\times D$	177.464	30	5.915	1.351	1.841	2.386
$A\times C\times D$	40.726	6	6.788	1.550	2.421	3.473
$B\times C\times D$	42.405	5	8.481	1.937	2.534	3.699
E	131.345	30	4.378			
T	891.976	167				
Model	760.631	137	5.552	1.268	1.676	2.098

Table 2 Result of ANOVA (Tensile strength)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	7524.1	6	1254.017	9.203**	2.421	3.473
B	1338.8	5	267.760	1.965	2.534	3.699
C	70.7	1	70.700	0.519	4.171	7.562
D	437.1	1	437.100	3.208	4.171	7.562
$A\times B$	6656.5	30	221.883	1.628	1.841	2.386
$A\times C$	1607.9	6	267.983	1.967	2.421	3.473
$A\times D$	1163.1	6	193.850	1.423	2.421	3.473
$B\times C$	291.6	5	58.320	0.428	2.534	3.699
$B\times D$	2365.3	5	473.060	3.472*	2.534	3.699
$C\times D$	132.1	1	132.100	0.969	4.171	7.562
$A\times B\times C$	3499.5	30	116.650	0.856	1.841	2.386
$A\times B\times D$	5320.1	30	177.337	1.301	1.841	2.386
$A\times C\times D$	275.3	6	45.883	0.337	2.421	3.473
$B\times C\times D$	513.3	5	102.660	0.753	2.534	3.699
E	4088.0	30	136.267			
T	35283.7	167				
Model	34953.79	137	22.706	1.671	1.676	2.098

Table 3 Result of ANOVA (Elongation percentage)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	12335.5	6	2055.917	4.851**	2.421	3.473
B	2569.8	5	513.960	1.213	2.534	3.699
C	30.0	1	30.000	0.071	4.171	7.562
D	108.5	1	108.500	0.256	4.171	7.562
$A\times B$	8003.5	30	266.783	0.629	1.841	2.386
$A\times C$	1970.5	6	328.417	0.775	2.421	3.473
$A\times D$	1136.5	6	189.417	0.447	2.421	3.473
$B\times C$	1358.0	5	271.600	0.641	2.534	3.699
$B\times D$	597.8	5	119.560	0.282	2.534	3.699
$C\times D$	84.3	1	84.300	0.199	4.171	7.562
$A\times B\times C$	10728.8	30	357.627	0.844	1.841	2.386
$A\times B\times D$	10457.5	30	348.583	0.822	1.841	2.386
$A\times C\times D$	2744.8	6	457.467	1.079	2.421	3.473
$B\times C\times D$	804.0	5	160.800	0.379	2.534	3.699
E	12715.2	30	423.840			
T	65644.5	167				
Model	592929.3	137	386.345	0.912	1.676	2.098

Table 4 Result of ANOVA (Compressive strain)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	1462.789	6	243.798	39.899**	2.421	3.473
B	38.214	5	7.643	1.251	2.534	3.699
C	0.024	1	0.024	0.004	4.171	7.562
D	0.214	1	0.214	0.035	4.171	7.562
$A\times B$	296.786	30	9.893	1.619	1.841	2.386
$A\times C$	70.81	6	11.802	1.931	2.421	3.473
$A\times D$	119.952	6	19.992	3.272*	2.421	3.473
$B\times C$	36.262	5	7.252	1.187	2.534	3.699
$B\times D$	90.786	5	18.157	2.972*	2.534	3.699
$C\times D$	0.595	1	0.595	0.097	4.171	7.562
$A\times B\times C$	253.905	30	8.464	1.385	1.841	2.386
$A\times B\times D$	404.048	30	13.468	2.204	1.841	2.386
$A\times C\times D$	36.405	6	6.068	0.993	2.421	3.473
$B\times C\times D$	7.69	5	1.538	0.252	2.534	3.699
E	183.31	30	6.110			
T	3001.786	167				
Model	2818.476	137	41.359	3.367**	1.676	2.098

Table 5 Result of ANOVA (Hardness)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	35.042	1	35.042	17.165*	18.513	98.503
B	1.750	2	0.875	0.429	19.000	99.000
C	5.042	1	5.042	2.470	18.513	98.503
D	0.375	1	0.375	0.184	18.513	98.503
$A\times B$	28.583	2	14.292	7.000	19.000	99.000
$A\times C$	2.042	1	2.042	1.000	18.513	98.503
$A\times D$	3.375	1	3.375	1.653	18.513	98.503
$B\times C$	5.083	2	2.542	1.245	19.000	99.000
$B\times D$	3.250	2	1.625	0.796	19.000	99.000
$C\times D$	0.375	1	0.375	0.184	18.513	98.503
$A\times B\times C$	0.583	2	0.292	0.143	19.000	99.000
$A\times B\times D$	1.750	2	0.875	0.429	19.000	99.000
$A\times C\times D$	1.042	1	1.042	0.510	18.513	98.503
$B\times C\times D$	12.250	2	6.125	3.000	19.000	99.000
E	4.083	2	2.042			
T	104.625	23				
Model	100.542	21	4.788	2.345	19.448	99.452

Table 6 Result of ANOVA (Tensile strength)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	495.04	1	495.040	21.486*	18.513	98.503
B	117.25	2	58.625	2.544	19.000	99.000
C	18.38	1	18.380	0.798	18.513	98.503
D	7.04	1	7.040	0.306	18.513	98.503
$A\times B$	69.08	2	34.540	1.499	19.000	99.000
$A\times C$	198.38	1	198.380	8.610	18.513	98.503
$A\times D$	12.04	1	12.040	0.523	18.513	98.503
$B\times C$	16.75	2	8.375	0.363	19.000	99.000
$B\times D$	39.08	2	19.540	0.848	19.000	99.000
$C\times D$	222.04	1	222.040	9.637	18.513	98.503
$A\times B\times C$	14.25	2	7.125	0.309	19.000	99.000
$A\times B\times D$	20.58	2	10.290	0.447	19.000	99.000
$A\times C\times D$	5.04	1	5.040	0.219	18.513	98.503
$B\times C\times D$	1.58	2	0.790	0.034	19.000	99.000
E	46.08	2	23.040			
T	1282.63	23				
Model	1236.55	21	58.883	2.556	19.448	99.452

Table 7 Result of ANOVA (Elongation percentage)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	6501.04	1	6501.040	353.798**	18.513	98.503
B	135.58	2	67.790	3.689	19.000	99.000
C	7.04	1	7.040	0.383	18.513	98.503
D	51.04	1	51.040	2.778	18.513	98.503
$A\times B$	4.08	2	2.040	0.111	19.000	99.000
$A\times C$	2.04	1	2.040	0.111	18.513	98.503
$A\times D$	3.37	1	3.370	0.183	18.513	98.503
$B\times C$	1.58	2	0.790	0.043	19.000	99.000
$B\times D$	2.58	2	1.290	0.070	19.000	99.000
$C\times D$	2.04	1	2.040	0.111	18.513	98.503
$A\times B\times C$	123.08	2	61.540	3.349	19.000	99.000
$A\times B\times D$	15.75	2	7.875	0.429	19.000	99.000
$A\times C\times D$	18.38	1	18.380	1.000	18.513	98.503
$B\times C\times D$	8.58	2	4.290	0.233	19.000	99.000
E	36.75	2	18.375			
T	6912.96	23				
Model	6876.21	21	327.439	17.820	19.448	99.452

Table 8 Result of ANOVA (Compressive strain)

Factors	S	ϕ	V	F_0	$F_{(0.05)}$	$F_{(0.01)}$
A	513.375	1	513.375	770.255 **	18.513	98.503
B	10.333	2	5.167	7.752	19.000	99.000
C	0.042	1	0.042	0.063	18.513	98.503
D	2.042	1	2.042	3.064	18.513	98.503
$A\times B$	0	2	0	0	19.000	99.000
$A\times C$	9.375	1	9.375	14.066	18.513	98.503
$A\times D$	0.042	1	0.042	0.063	18.513	98.503
$B\times C$	25.333	2	12.667	19.005*	19.000	99.000
$B\times D$	5.333	2	2.667	4.001	19.000	99.000
$C\times D$	0.375	1	0.375	0.563	18.513	98.503
$A\times B\times C$	7.000	2	3.500	5.251	19.000	99.000
$A\times B\times D$	16.333	2	8.167	12.253	19.000	99.000
$A\times C\times D$	7.042	1	7.042	10.566	18.513	98.503
$B\times C\times D$	3.000	2	1.500	2.251	19.000	99.000
E	1.333	2	0.667			
T	600.958	23				
Model	599.625	21	28.554	42.841*	19.448	99.452

산화마그네슘, 수산화칼슘은 단일 종류를 사용하였으며, 탄소는 3종을 5:5 비율로 2종씩 섞어서 3종을 만들어 사용하였다. 가황제 역시 1차 조건과 마찬가지로 1종을 사용하였으며, 총 24회 물성시험을 진행했다. 물성시험 결과로는 경도, 인장강도, 연신율, 압축변형 4가지 항목으로 두었다.

이에 따라 2차 분산분석의 인자는 1종만을 사용한 가황제를 제외한 중합체(A), 탄소(B), 산화마그네슘(C), 수산화칼슘(D)으로 4개이고, 각 인자들의 수준은 A=2, B=3, C=2, D=2이다. 반응인자는 물성시험 결과로 얻은 경도, 인장강도, 연신율, 압축변형 4개이고, 분산분석 신뢰수준은 95%를 기준으로 삼았다.

3.2 사원배치실험 분산분석

경도에 대한 분산분석표는 Table 5와 같다.

전체 실험모델이 신뢰수준 95%에서 기각치 19.448보다 작아 유의하지 않고 유의확률은 0.342로 0.05보다 크므로 귀무가설이 성립된다. 유의한 인자는 주효과 A인자 하나라 임의의 수준조합이 성립되지 않는다. 따라서 경도에 관하여 최적배합조건을 찾는 것은 무의미하다고 판단된다.

인장강도에 대한 분산분석표는 Table 6과 같다.

신뢰수준 95%에서 A가 유의하고, 신뢰수준 90%에서 $A\times C$, $C\times D$가 유의하다. 1차로 풀링된 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $A\times C$, $C\times D$가 유의하다. 점추정 계산 결과 $A_1C_2D_2$가 가장 높은 인장강도 값을 가지며 95% 신뢰구간은 107.423 ~ 116.577이며 이를 만족하는 조합은 다음과 같다.

$$A_1B_1C_2D_2,\ A_1B_2C_2D_2$$

연신율에 대한 분산분석표는 Table 7과 같다.

분산분석 결과 전체 실험모델이 신뢰수준 95%에서 기각치 19.448보다 작아 유의하지 않고 유의확률은 0.054로 0.05보다 크므로 귀무가설이 성립된다. 유의한 인자는 주효과 A인자 하나라 임의의 수준조합이 성립되지 않는다. 따라서 연신율에 관하여 최적배합조건을 찾는 것은 무의미하다고 판단된다.

압축변형에 대한 분산분석표는 Table 8과 같다.

신뢰수준 95%에서 A와 $B\times C$가 유의하고, 신뢰수준 90%에서 $A\times C$가 유의하다. 1차로 풀링한 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $B\times D$가 유의하고 $A\times C$의 유의확률은 92.1%로 오차항에 풀링한다. 2차로 풀링한 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 A와 $B\times C$가 유의하며, 점추정 계산 결과 $A_2B_3C_1$가 가장 낮은 압축변형 값을 가진다. $A_2B_3C_1$의 95% 신뢰구간은 14.635 ~ 18.615이며 이를 만족하는 조합은 다음과 같다.

$$A_2B_3C_1D_1,\ A_2B_3C_1D_2$$

1차 사원배치실험 분산분석을 통해 고무 물성의 가장 큰 영향을 끼치는 중합체 및 탄소를 선정하였다. 2차 사원배치실험 분산분석에서는 탄소 2종류를 혼합해 최종적으로 물성값과 신뢰구간을 만족하는 고무배합비 4종($A_1B_1C_2D_2$, $A_1B_2C_2D_2$, $A_2B_3C_1D_1$, $A_2B_3C_1D_2$)을 도출했고, 도출한 고무배합비는 Table 9와 같고, 물성 특성은 Fig.1과 같다.

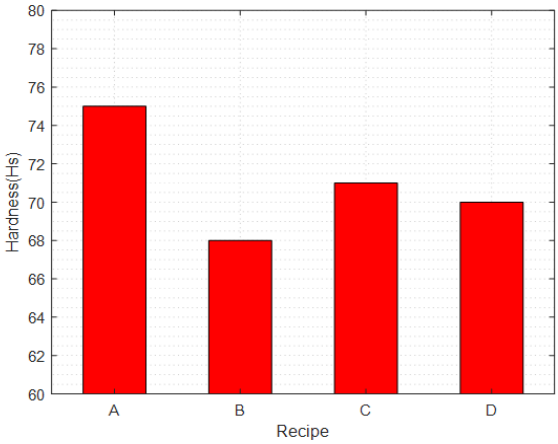
4. 결 론

본 논문에서는 최적의 오일씰용 고무 물성을 얻기 위해 분산분석을 이용하여 고무배합에 대한 연구를 진행했고, 다음과 같은 결론을 도출했다.

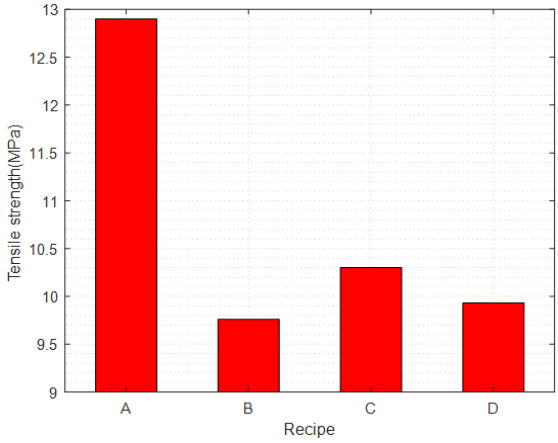
1. 인자 중 중합체의 경우 경도, 인장강도, 연신율, 압축변형 4가지 반응인자에 모두 영향을 미친다.

Table 9 Rubber mixture recipe

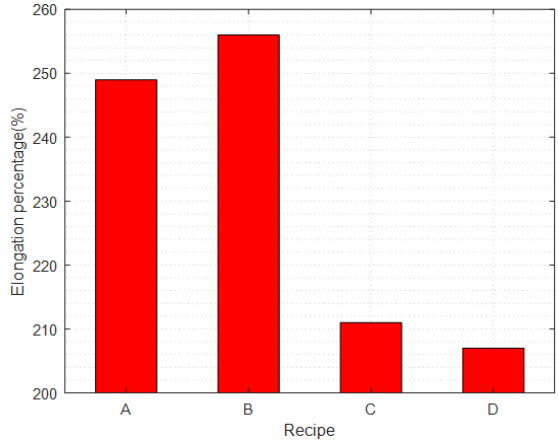
	A	B	C	D	Ratio
POLYMER	P_2	P_1	P_2	P_1	100
CARBON	C_1	C_2	C_1	C_2	15
	C_2	C_3	C_3	C_3	15
MgO	M_1	M_2	M_1	M_2	6
Ca(OH)2	Ca_1	Ca_2	Ca_1	Ca_1	6
VULCANIZING AGENT					5



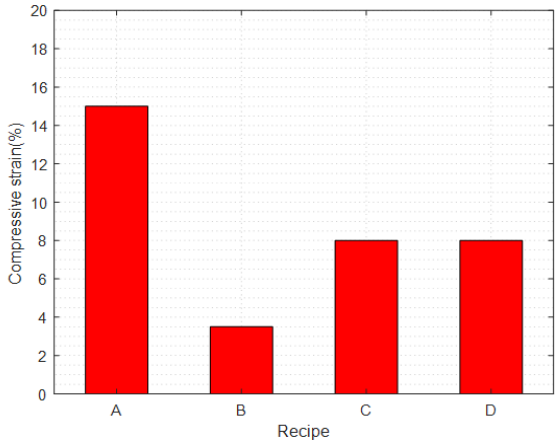
(a) Hardness



(b) Tensile strength



(c) Elongation percentage



(d) Compressive strain

Fig. 1 Properties of rubber

2. 반응인자 중 연신율은 인자 중합체에 대해서만 영향을 받으며, 다른 인자인 탄소, 산화마그네슘, 수산화칼슘 대해서는 영향을 받지 않는다.
3. 최종적으로 2차에 걸친 분산 분석을 통해 물성 특성이 가장 우수하다고 할 수 있는 배합비 4종을 도출했다.

후 기

“이 논문은 2018년도 산업통상자원부의 광역협력권 산업육성사업(R0005789)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.“

REFERENCES

1. Park, S. S., Kil, S. G. Jang, B. M., Song, K. C. and Kim, S. K., "Influence of Amine Base Dispersing Agent on Properties of Silica Filled Rubber Compounds," Polymer(Korea), Vol. 25, No. 4, pp. 503-511, 2001.
2. Park, B. H., Jung, I. G. and Park, S. S., "Effect of Various Cross - linking Types on the Physical Properties in Carbon Black - Filled Natural Rubber Compound," Polymer(Korea), Vol. 25, No. 1, pp. 63-70, 2001.

3. Park, S. S., Park, B. H., Song, K. C. and Kim, S. K., "Effects of Mixing Mode on the Fracture Properties of Silica and Carbon Black Filled NR Vulcanizates," Polymer(Korea), Vol. 24, No. 2, pp. 220-227, 2000.
4. Lee, I. and An, N. H., "Correlation Between the Composition of Compliant Coating Material and Drag Reduction Efficiency," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-B, Vol. 33, No. 6, pp. 389-395, 2009.