

숙련도 평가를 위한 최적의 고무 시험편 제작 방법 개발

Manufacturing Method of Optimum Rubber Specimen for the proficiency Test

고분자섬유과 공업연구사 임완빈

02) 509 - 7263 wbim@ats.go.kr

Abstract

최근 각종 산업에서 광범위하게 사용되는 고무 제품은 사용목적에 맞게 여러 종류의 배합제 등을 혼합하여 성형함으로써 작업자의 숙련도에 따라 물성의 편차가 클 수 있다. 본 연구에서는 NBR, SBR, EPDM 원료고무를 사용한 배합설계를 토대로 시험편을 제작하여 각각 물성을 평가하였다. 또한 RRT 평가를 위해서 숙련자, 비숙련자, 일반고무공장 그룹으로 나누어서 시험편을 제작되하여 평가하였다. 본 연구 결과, 시험편간의 편차는 5% 이내, 시험소간 편차는 6%를 나타내었다. 본 연구로 숙련도 시험용 표준 배합표를 통하여 물성을 조절할 수 있고, 물성이 균질한 고무 시험편을 제작할 수 있는 배합설계방법을 제시하고 최적의 혼련 성형방법으로 시험편을 제작하여 신뢰성을 높이고자 하였다.

1. 서 론

고무제품은 수많은 원료 고무 중에서 제품의 사용목적에 맞게 단독 또는 몇 가지 고무재료를 블렌

드하여 이 혼합 고무에 여러 가지의 배합제를 적정하게 혼합하고 복잡한 성형 및 가공공정을 거쳐 제조되고 있다. 이러한 배합은 과거 30년간 문헌과 잡지에 발표되어진 배합설계만 하여도 조사 당시 1200여 개에 달하니 이는 배합사례의 예 일뿐 보통의 배합은 무한하다고 볼 수 있다. 국내 고무산업은 1960년대부터 발전을 이루어 왔으며 오늘날에 이르기까지 각각의 제품에 맞는 배합설계를 통한 제품의 성형에 급급해 온 것이 사실이다.

그러나, 고무재료의 숙련도 시험과 신뢰성 평가에 사용되어지는 시험편은 향후 KOLAS인증기관을 대상으로 하는 숙련도 평가를 위한 시험과 고무분야의 수많은 시험방법에서 시험방법의 종류에 따라 시험편이 갖추어야 할 특성이 서로 다르게 구분되어 질 수 있는데 이를 구분하고 누구든지 쉽게 물성의 차이를 갖는 배합설계를 하고 균질한 시험편을 제작할 수 있는 방법은 아직 전무한 실정이다. KS규격과 JIS규격에 각 원료 고무별 기본배합과 배합방법이 명시되고 이에 대한 인장성능을 제 시험으로써 배합성형 후 물성비교를 통하여 원료

고무를 평가하는 방법이 있으며 ISO규격에도 균질한 인장시험편의 제작방법이 제시되어있으나 숙련도 시험용으로는 국내 실정과 방법면에서 상당히 동떨어져 있어 본 연구를 통하여 상기의 방법들을 기초로 우리에게 맞는 배합설계와 방법을 찾아 표준화 하고자 한다. 이를 통하여 숙련도용 고무 시험편과 새로운 고무시험방법의 개발시 가장 중요시되어지는 균질성을 갖는 고무시험편의 제작방법에 대하여 표준화 하고자 한다. 이는 학술적 또는 국가적으로 새로운 평가기준을 표준화하는데 필수적 요인이 아닐 수 없다. 따라서 본 연구 결과를 통하여 약품의 조합을 통하여 원하는 물성의 균질한 고무 시험편을 제작할 수 있는 배합설계 방법을 제시하고 이를 균질하게 혼련·성형하는 최적의 성형방법을 제시함으로써 고무숙련도용이나 시험방법 개발을 위한 시험편 제작시 이에 대한 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 실험방법

1. 배합설계

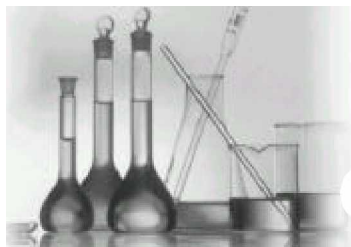
배합설계에 있어 가장 중점을 둔 것은 균질성을 위한 분산도이다. 원료 고무의 특성을 고찰한 다음 이중 가장 널리 사용되어지며, 분산성이 우수하고 배합이 용이한 SBR(Styrene Butadiene copolymer, 1502), NBR(Acrylonitrile Butadiene copolymer, 0230L), EPDM(Ethylene-Propylene diene copolymer, KP330)의 3종을 선택하였다. 배합설계 시에 노화성에 영향을 주는 노화 방지제를 제외시킴으로서 노화 전·후의 물성치를 유도하였고, 함량 변화에 따른 물성 변화를 고찰하기 위한 보강제

로서도 분산성이 좋은 고무용 카본블랙인 SRF를 사용하였다. 배합 약품으로는 분산제로 스테아르산, 가교보조제로 산화아연, 가황제로 황 및 가황 촉진제로 CZ(N-cyclohexyl-2-benzo thiazyl sulfenamide)와 TT(tetramethyl thiuram disulfide)를 사용함으로써 분산성이 우수하고 재현성을 가질 수 있도록 배합설계 하였다. SBR, NBR 및 EPDM 고무의 배합설계는 표 1~ 표 3과 같이 수행하였다.

<표 1> SBR 고무의 배합설계

단위 : phr

| 순번 | 원료 고무 (SBR 1502) | 카본블랙 (SRF) | 황 (S) | 가교보조제 (ZnO) | 분산제 (스테아르산) | 가황촉진제 (CZ) |
|-----|------------------|------------|-------|-------------|-------------|------------|
| S1 | 100 | 10 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| S2 | 100 | 20 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| S3 | 100 | 30 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| S4 | 100 | 40 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| S5 | 100 | 50 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| S6 | 100 | 10 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| S7 | 100 | 20 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| S8 | 100 | 30 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| S9 | 100 | 40 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| S10 | 100 | 50 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| S11 | 100 | 10 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| S12 | 100 | 20 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| S13 | 100 | 30 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| S14 | 100 | 40 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| S15 | 100 | 50 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |



연구보고

<표2> NBR 고무의 배합설계

단위 : phr

| 순번 | 원료고무 (NBR 0230L) | 카본블랙 (SRF) | 황 (S) | 가교보조제 (ZnO) | 분산제 (스테아스산) | 가황촉진제 (CZ) |
|-----|---------------------|---------------|----------|----------------|----------------|---------------|
| N1 | 100 | 10 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| N2 | 100 | 20 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| N3 | 100 | 30 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| N4 | 100 | 40 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| N5 | 100 | 50 | 1.5 | 5 | 1 | 2 |
| N6 | 100 | 10 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| N7 | 100 | 20 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| N8 | 100 | 30 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| N9 | 100 | 40 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| N10 | 100 | 50 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| N11 | 100 | 10 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| N12 | 100 | 20 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| N13 | 100 | 30 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| N14 | 100 | 40 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |
| N15 | 100 | 50 | 2.5 | 5 | 1 | 2 |

<표3> EPDM 고무의 배합설계

단위 : phr

| 순번 | 원료고무 (KP 330) | 카본블랙 (SRF) | 황 (S) | 가교보조제 (ZnO) | 분산제 (스테아스산) | 가황촉진제 | |
|-----|------------------|---------------|----------|----------------|----------------|-------|------|
| | | | | | | (CZ) | (TT) |
| E1 | 100 | 10 | 1.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E2 | 100 | 20 | 1.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E3 | 100 | 30 | 1.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E4 | 100 | 40 | 1.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E5 | 100 | 50 | 1.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E6 | 100 | 10 | 2 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E7 | 100 | 20 | 2 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E8 | 100 | 30 | 2 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E9 | 100 | 40 | 2 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E10 | 100 | 50 | 2 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E11 | 100 | 10 | 2.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E12 | 100 | 20 | 2.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E13 | 100 | 30 | 2.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E14 | 100 | 40 | 2.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |
| E15 | 100 | 50 | 2.5 | 5 | 1 | 1.5 | 0.5 |

2. 혼련방법

2.1 전 처리

카본블랙을 시험용 고무에 혼입하기 전에 적당한 크기의 뚜껑이 없는 용기에 넣고, 두께 10mm 이하로 균일하게 펼쳐 125±1℃ 건조기에서 1시간 이상 건조한 후 데시케이터에서 약 20분 동안 실온에 방치한 후 배합에 사용하였다.

2.2 혼 련

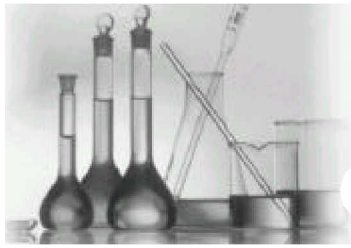
롤러를 사용하여 다음과 같은 순서로 혼련하였으며, 롤러의 표면온도는 55±5℃를 유지하였다.

- (1) 롤러 간격을 1.5~2mm로 조정하여 준비된 원료고무를 앞 롤러에 감고 3~5분간 소련 작업
- (2) 소련된 고무를 적당한 두께의 사이트(5~6mm)로 뽑아 상온에서 약 1시간 냉각
- (3) 소련된 고무의 무게를 확인, 조정하고 롤러의 간격을 3~4mm로 조정하여 앞 롤러에 감는다.
- (4) 산화이연 및 스테아르산을 가한다.
- (5) 카본블랙을 2회로 나누어 균일하게 일정량씩 가한다. 카본블랙을 절반 가하고 혼합되었을 때 0.3mm 정도 롤러의 간격을 넓히고 나머지 카본블랙을 가하여 완전히 혼합한 다음 좌우 교대로 3/4 칼질을 한번 한다. 롤러 아래로 떨어진 카본블랙을 버려지는 것이 없도록 비로 쓸어 담아 다시 넣는다.
- (6) 가황제 및 촉진제를 균일하게 일정량씩 가한다. 혼합이 끝나면 좌우교대로 3/4 칼질을 2회하고 삼각접기를 3회 실시한다.

- (7) 혼련된 고무를 7mm 정도의 사이트로 뽑아 무게를 달고, 그 무게의 차이는 ±0.8% 이내이어야 한다.
- (8) 혼련된 고무를 상온에서 24시간 정도 숙성 시킴.
- (9) 롤러의 간격을 3~3.5mm로 조정하여 숙성된 혼련고무를 내림작업을 취하여 앞롤에 감는다.
- (10) O형말기와 삼각접기를 교대로 10회정도 실시하였고 사이트를 3mm 두께로 23±5℃에서 1시간 이상 냉각시키고 가황에 사용.

3. 성형방법

프레스는 금형 표면에 적어도 345MPa 이상의 압력을 가할수 있는 것을 사용하였고, 금형 캐비티의 깊이는 1.9~2.0mm이었다. 또한 경질 크롬 도금한 것을 사용하였다. 가황의 조건은 KS M 6687(가황속 정가에 의한 배합고무의 특성)방법에 따라 가황시키고자 하는 온도를 100~200℃에서 정하고 이에 대한 t90으로 가황시간을 설정한다. 가황시간은 각 시편에서 3곳을 절취하여 측정하였다. 이형제는 T시편과 금형에 영향을 미치지 않는 이형제(KF96SP, Shinetsu)를 사용하였다. 여분의 이형제는 시트를 1회 가황한 후에 제거하였으며, 미가황 고무를 넣기 전에 금형을 가황하고자 하는 온도에서 적어도 20분이상 예열하였다. 가황시간은, 금형에 압력이 충분히 가하여진 순간부터 압력을 제거할 때까지의 시간을 말하며, 프레스를 열고 곧 가황된 시트를 꺼내어 물속에 넣고 10~15분



연구보고

간 냉각시킨 다음, 표면을 잘 닦고 건조 시켜 시험 용으로 보존하였다. 가황된 시험편의 결과에는 선택한 가황조건을 기록하였다. 시험편은 16~96시간 상온에서 보존 후, 물리 시험에 사용하였다.

4. 물리 시험 방법

가황처리에 의해 가교된 가황고무는 늘어나거나 수축하는, 소위 고무로서의 성질을 나타내게 된다. 이것은 선상의 고무 분자사슬이 가교점이라고 하는 결합점으로 서로 연결되어 3차원의 망상구조를 가지게 되기 때문이다. 이에 따라 고무는 여러 가지 물리적 특성을 나타내는 것이고, 그것을 조사하는 다양한 시험방법이 개발되어 있다.

시험방법은 KS M 6781(가황 고무의 물리 시험 방법 통칙), M 6782(가황 고무의 인장 시험 방법), M 6783(가황 고무의 인열 시험 방법), M 6784(가황 고무의 경도 시험 방법), M 6788(가황 고무의 노화 시험 방법) 등에 따라 수행하였다.

본 연구에서는 다음과 같은 가황고무의 기본 물성을 측정하였다.

- ① 인장시험
- ② 신장률시험
- ③ 인열시험
- ④ 경도시험
- ⑤ 노화시험(인장시험, 신장률, 인열시험, 경도 시험)
- ⑥ 압축영구줄음률시험

3. 결과 및 고찰

1. 미가황고무의 평가

소련에 의해 가소화된 원료 고무에 배합제를 혼련시킨 후 성형을 거쳐 가교시키지만 이 조작을 전후에서 고무의 성질은 크게 변화한다. 가황고무의 성질은 배합제에 따라 크게 영향을 받는데 특히 고무에 대한 황의 결합량에 따라서 크게 지배된다. 황이나 가황촉진제의 양이 일정한 경우에도 가황 온도와 가황시간이 바뀌면 결합 황의 양은 바뀐다. 일반적으로 가황온도가 높고 가황시간이 길어지면 결합 황의 양은 증가하는 경향을 나타낸다.

본 연구에서는 미가황고무의 가황특성을 위해서 KS M 6687(가황측정기에 의한 배합 고무의 가황 특성)의 방법으로 진동디스크형 가황측정기(Rheometer)를 이용하여 160℃에서 총 가황 90%에 대한 시간(tc90)을 각 시편 당 3개씩 측정하였다. 최적 가황 시간을 tc90로 결정하고 측정결과를 살펴보면 첫째, 카본블랙의 함량이 증가할수록 가황 시간이 감소하였고, 둘째 황 함량의 증가로 시간이 단축되는 것을 알 수 있었으며, 원료고무에 따라 SBR > EPDM > NBR 순으로 가황시간 경향을 나타내었다.

2. SBR 고무의 평가

본 연구에서 목표 설정한 미가황 배합물의 동일한 시료내 최대값과 최소값의 차이가 10% 이내, 동일 배합비로 제조된 시편내의 시험값 8% 이내 편차는 본 고무 시험 평가에서는 미가황 배합물의 동일한 시료내 최대값과 최소값의 편차가 10% 이내였으며, 시편내의 시험값의 편차는 4% 정도를 나타내었다. 표 6은 배합표에 따라 제작된 SBR 고무의 물성 시험 결과를 나타내었다.

<표4> 미가황고무의 가황 시간(tc90, 160℃)

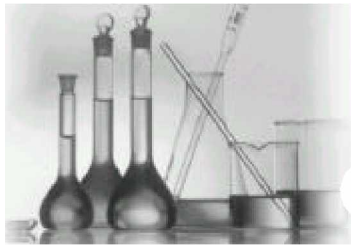
단위 : 분

| 순번 | SBR | | | NBR | | | | EPDM | |
|----|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|-------|
| | 1 | 15:39 | 14:24 | 13:59 | 9:07 | 9:49 | 9:30 | 9:28 | 9:54 |
| 2 | 12:55 | 13:02 | 12:24 | 8:25 | 8:43 | 9:02 | 9:00 | 9:13 | 9:25 |
| 3 | 11:06 | 10:51 | 10:48 | 7:50 | 8:03 | 8:26 | 8:37 | 8:44 | 8:51 |
| 4 | 10:08 | 10:10 | 9:58 | 7:22 | 8:09 | 7:34 | 8:30 | 8:19 | 8:22 |
| 5 | 9:49 | 9:42 | 9:22 | 7:15 | 7:24 | 7:46 | 6:54 | 6:54 | 7:04 |
| 6 | 12:46 | 12:50 | 12:43 | 7:59 | 8:21 | 8:04 | 9:51 | 10:29 | 10:13 |
| 7 | 11:18 | 12:46 | 11:08 | 7:35 | 7:51 | 8:05 | 9:34 | 9:13 | 9:44 |
| 8 | 10:29 | 10:20 | 9:50 | 7:26 | 7:38 | 7:40 | 7:27 | 7:39 | 7:54 |
| 9 | 9:48 | 9:43 | 9:08 | 7:36 | 6:50 | 7:22 | 7:01 | 6:42 | 7:12 |
| 10 | 9:05 | 9:04 | 8 : 35 | 6:50 | 6:28 | 6:50 | 6:06 | 5:45 | 6:25 |
| 11 | 11:47 | 11:22 | 11:31 | 7:39 | 7:47 | 7:40 | 9:26 | 9:47 | 10:03 |
| 12 | 10:45 | 10:17 | 10:24 | 6:58 | 7:05 | 7:02 | 9:31 | 9:57 | 9:12 |
| 13 | 9:57 | 9:25 | 9:43 | 6:38 | 6:53 | 6:40 | 8:04 | 7:28 | 8:12 |
| 14 | 9:09 | 8:40 | 9:22 | 6:14 | 6:22 | 6:30 | 7:02 | 6:28 | 7:11 |
| 15 | 8:47 | 8:29 | 8:35 | 5:00 | 5:17 | 5:13 | 5:48 | 5:22 | 6:13 |

* tc90 : 총 가황 90%에 대한 시간

<표5> SBR 고무의 물성 시험 결과

| 시험항목 | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | 노화시험 (공기가열식 70℃, 96시간) | | | | 압축영구 줄임률 (70℃, 22h) (%) |
|------|---------|------------|---------|------------|------------------------|------------|---------|------------|-------------------------|
| | | | | | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | |
| S1 | 53 | 5.68 | 280 | 23.1 | 55 | 5.77 | 210 | 20.0 | 14 |
| S2 | 55 | 7.70 | 330 | 34.4 | 57 | 8.62 | 240 | 27.7 | 13 |
| S3 | 57 | 10.9 | 330 | 37.7 | 59 | 10.0 | 250 | 30.3 | 15 |
| S4 | 60 | 12.6 | 320 | 43.8 | 62 | 13.5 | 240 | 36.4 | 13 |
| S5 | 62 | 14.0 | 290 | 45.4 | 65 | 14.7 | 220 | 38.3 | 15 |
| S6 | 54 | 5.28 | 270 | 23.9 | 56 | 5.47 | 210 | 19.1 | 12 |
| S7 | 56 | 8.76 | 310 | 34.0 | 58 | 8.19 | 230 | 27.1 | 13 |
| S8 | 58 | 11.4 | 330 | 37.7 | 60 | 10.6 | 250 | 31.5 | 14 |
| S9 | 62 | 13.1 | 340 | 44.0 | 64 | 13.6 | 250 | 36.7 | 11 |
| S10 | 65 | 14.3 | 300 | 46.0 | 67 | 15.2 | 220 | 38.5 | 13 |
| S11 | 55 | 5.26 | 270 | 21.5 | 57 | 5.15 | 200 | 18.5 | 10 |
| S12 | 57 | 9.15 | 280 | 33.8 | 59 | 9.00 | 210 | 28.1 | 11 |
| S13 | 60 | 11.7 | 280 | 37.3 | 63 | 11.0 | 210 | 31.4 | 13 |
| S14 | 64 | 12.8 | 270 | 41.6 | 67 | 13.9 | 200 | 36.2 | 12 |
| S15 | 68 | 14.2 | 260 | 46.0 | 70 | 15.0 | 190 | 38.1 | 12 |



연구보고

2.1 인장강도

표준 배합표에 의해 제작된 SBR 고무의 기본 물성인 인장강도는 카본블랙의 함량이 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 배합에 사용되는 카본블랙의 종류에 따라 서로 다르다. 본 연구에서 사용된 SRF는 인장강도와 카본블랙의 충전량에 따라 완만한 증가의 효과가 있으나, 일반적으로 카본블랙을 SAF로 사용할 경우는 인장강도가 증가하다 감소한다고 알려져 있다. 또한 사용된 황의 함량 변화는 인장강도에 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다.

2.2 신장률

SBR 고무의 배합에 따른 신장률의 변화를 살펴보면, 카본블랙과 황의 함량 변화에 따라 효과가 다양한 것으로 나타났다. 황의 함량이 1.5phr의 경우인 S1~S5의 시료에서는 카본블랙의 함량이 20~40phr인 S2, S3, S4의 시료가 신장률이 우수한 것으로 나타났다. 황의 함량이 2.0phr의 경우에는 카본블랙의 함량이 증가할수록 신장률도 증가하다 카본블랙의 함량이 50phr일 때 신장률이 현저히 감소하는 효과를 나타내었다. 또한 황 함량이 2.5phr로 증가된 경우인 S11~S15 시료에서의 신장률은 카본블랙 함량 변화에 따른 효과는 미비하였으며 단지 황의 증가로 인해 전체적으로 신장률이 낮게 나타났다.

2.3 인열강도

SBR 고무의 배합에 따른 인열강도의 변화추이를 살펴보면 고무의 기본 물성인 인장강도와 유사

한 경향을 보임을 알 수 있다. 카본블랙의 함량이 증가할수록 인열강도도 증가한다. 또한 황의 함량은 고무의 물성 중의 하나인 인열강도에 커다란 효과가 없음을 알 수 있었다.

2.4 경도

SBR 고무의 배합에 따른 경도의 변화를 살펴보면 카본블랙의 함량이 증가할수록 경도가 증가하는 결과를 얻을 수 있었으며, 또한 황의 함량이 1.5, 2, 2.5phr로 증가할 때, 경도도 함께 증가함을 알 수 있었다. SBR 고무의 경도는 카본블랙의 함량 변화, 황의 함량 변화에 아주 민감하여 중요한 물성이라 할 수 있다.

2.5 노화시험

고무시편을 노화조건인 온도 $70 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 96시간 방치한 후, 다시 상온에서 16시간이 지난 후 시험한 인장강도, 신장률, 인열강도 그리고 경도를 측정함으로써 SBR 고무의 배합에 따른 노화 경향을 살펴보았다.

먼저, 인장강도를 살펴보면 변화추이는 상온에서의 인장강도 변화추이와 비슷한 결과를 얻을 수 있었으나, SBR 고무의 노화 후 인장강도의 값은 상온과 비슷하거나 증가된 값을 볼 수 있었다. 신장률의 경우 상온의 신장률 변화 추이와 유사하지만 전체적으로 신장률이 20~25% 정도 감소됨을 알 수 있었다. 고무의 주 물성인 신장률이 다른 물성에 비해 감소율이 커서 노화를 살펴볼 때 가장 중요한 물성이라고 할 수 있다. SBR 고무시편의 노화 후 인열강도는 그 경향은 상온과 유사하였지만,

상온과 노화 후 측정값이 유사한 인장강도와는 다르게 그 값이 전체적으로 15~20% 정도 감소됨을 알 수 있었다. 다른 물성인 신장률, 인열강도는 노화 후 측정값이 감소하였지만 경도와 인장강도의 노화 후 측정값이 증가한 것과 같이 전체적으로 다소 증가함을 알 수 있었다.

2.6 압축영구줄음률

원통형 고무시편을 제조하여 압축영구줄음률 시험을 한 결과, 카본블랙의 함량과 황의 함량을 변화시킨 배합에 따른 압축영구줄음률시험의 측정값은 어떠한 경향을 보이지는 않았다. 모든 시편이 단지 10~15% 정도의 측정값을 나타내었다.

3. NBR 및 EPDM 고무의 평가

속련도 평가를 위해 설정한 NBR 및 EPDM 미가황 배합물의 동일한 시료내 최대값과 최소값의 차이가 10% 이내 편차, 동일 배합비로 제조된 시

편내의 시험값 8% 이내 편차는 본 고무 시험 평가에서는 미가황 배합물의 동일한 시료내 최대값과 최소값의 편차가 10% 이내였으며, 시편내의 시험값의 편차는 5%, 4% 정도를 나타내었다.

표 6과 표 7은 배합표에 따라 제작된 NBR 및 EPDM 고무의 물성 시험 결과를 나타내었으며 SBR 고무와 유사한 결과를 나타내었다.

4. RRT 평가

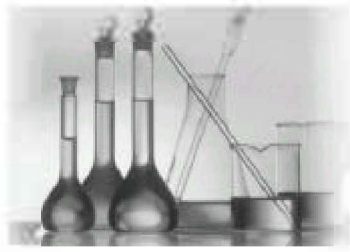
1. 배합설계

RRT(Round Robin Test) 평가를 위한 표준배합표는 표 8과 같다.

각 원료고무별 시험배합표로 시험소는 속련자, 일반고무공장, 비속련자로 나누어 동일배합조건과 동일한 조건으로 5배합을 하여 시편을 제작하였다. 가황시간 측정은 160°C, t90이며, 성형은 온도 160°C, 150kgf/cm²의 압력으로 각각 시험편 2장 제작하게 하였다.

<표6> NBR 고무의 물성 시험 결과

| 시험항목 시료 | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | 노화시험 (공기가열식 70°C, 96시간) | | | | 압축영구 줄음률 (70°C, 22h) (%) |
|------------|------------|---------------|------------|---------------|----------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------------------------|
| | | | | | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | |
| N1 | 54 | 7.07 | 430 | 28.2 | 57 | 7.10 | 340 | 28.0 | 15 |
| N2 | 57 | 13.5 | 440 | 34.3 | 61 | 12.8 | 360 | 34.6 | 18 |
| N3 | 60 | 15.5 | 450 | 37.7 | 64 | 15.7 | 360 | 36.8 | 17 |
| N4 | 63 | 17.9 | 420 | 41.2 | 67 | 17.4 | 340 | 41.1 | 16 |
| N5 | 66 | 18.5 | 370 | 42.8 | 70 | 19.1 | 300 | 42.2 | 16 |
| N6 | 56 | 6.83 | 360 | 26.7 | 61 | 6.82 | 290 | 26.9 | 16 |
| N7 | 60 | 12.5 | 370 | 32.5 | 65 | 11.6 | 310 | 32.6 | 17 |
| N8 | 62 | 14.5 | 360 | 35.6 | 67 | 14.1 | 300 | 35.5 | 18 |
| N9 | 67 | 17.5 | 350 | 37.7 | 70 | 18.2 | 280 | 36.9 | 16 |
| N10 | 70 | 19.3 | 330 | 39.8 | 72 | 19.8 | 270 | 38.7 | 19 |
| N11 | 58 | 6.70 | 300 | 27.8 | 63 | 6.78 | 260 | 26.5 | 24 |
| N12 | 61 | 11.0 | 330 | 31.2 | 66 | 10.5 | 280 | 31.3 | 22 |
| N13 | 65 | 13.3 | 330 | 35.6 | 68 | 13.8 | 270 | 35.8 | 23 |
| N14 | 68 | 17.1 | 330 | 36.6 | 72 | 17.2 | 260 | 36.3 | 22 |
| N15 | 72 | 18.4 | 290 | 38.3 | 74 | 18.3 | 250 | 38.4 | 23 |



연구보고

<표7> EPDM 고무의 물성 시험 결과

| 시험항목 시료 | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | 노화시험 (공기가열식 70°C, 96시간) | | | | 압축영구 줄음률 (70°C, 22h) (%) |
|------------|------------|---------------|------------|---------------|----------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------------------------|
| | | | | | 경도 (Hs) | 인장강도 (MPa) | 신장률 (%) | 인열강도 (Ncm) | |
| E1 | 57 | 2.62 | 160 | 11.9 | 58 | 2.50 | 130 | 11.7 | 13 |
| E2 | 61 | 4.47 | 190 | 18.5 | 62 | 4.25 | 150 | 17.8 | 13 |
| E3 | 65 | 6.48 | 220 | 21.8 | 66 | 6.33 | 170 | 21.5 | 14 |
| E4 | 68 | 10.4 | 250 | 27.4 | 69 | 9.44 | 190 | 26.0 | 12 |
| E5 | 70 | 12.1 | 270 | 30.2 | 71 | 11.8 | 220 | 29.5 | 14 |
| E6 | 59 | 2.34 | 150 | 11.4 | 60 | 2.10 | 110 | 10.6 | 18 |
| E7 | 62 | 3.88 | 180 | 17.4 | 63 | 3.66 | 130 | 16.2 | 19 |
| E8 | 66 | 6.23 | 210 | 21.2 | 68 | 5.89 | 150 | 20.9 | 18 |
| E9 | 69 | 10.2 | 240 | 25.4 | 71 | 9.12 | 180 | 25.1 | 21 |
| E10 | 71 | 11.8 | 260 | 29.8 | 73 | 11.4 | 210 | 29.7 | 20 |
| E11 | 60 | 2.02 | 130 | 10.8 | 62 | 1.80 | 100 | 10.4 | 21 |
| E12 | 64 | 3.63 | 160 | 16.5 | 66 | 3.29 | 120 | 15.2 | 19 |
| E13 | 67 | 5.92 | 180 | 19.2 | 69 | 5.62 | 140 | 19.0 | 23 |
| E14 | 70 | 9.08 | 200 | 24.8 | 72 | 8.39 | 160 | 24.6 | 20 |
| E15 | 73 | 10.9 | 240 | 29.5 | 76 | 10.6 | 190 | 28.8 | 22 |

<표8> 표준 배합표

| | SBR (1502) | NBR (0230 L) | EPDM (KP 330) |
|-----------------------|---------------|-----------------|------------------|
| Carbon Black (SRF) | 30 | 30 | 30 |
| S | 2 | 2 | 2 |
| ZnO | 5 | 5 | 5 |
| StA | 1 | 1 | 1 |
| 가황촉진제 | CZ 2 | CZ 2 | CZ 1.5 TT 0.5 |

2. RRT 평가

RRT 시험 목표는 동일한 방법에 의한 가황시간의 최대 최소값이 10% 이내, 시험편간의 편차 8% 이내, 시험소간의 편차는 10% 목표로 하였다.

RRT 시험 결과를 살펴보면 가황시간의 최대 최소값은 모든 시험소가 10% 이내였으며, 시험편간의 편차는 비숙련자의 경우 5%의 편차를 보였고, 숙련자와 일반고무공장의 경우는 3% 정도의

편차를 보였다. 또한 시험소간의 편차를 살펴보면 숙련자와 비숙련자의 편차가 6%를 나타내었다.

RRT 평가에 의한 시험결과는 표 9, 표 10, 표

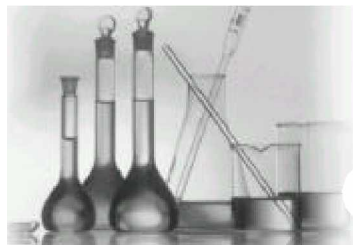
11에 나타내었으며 원료고무의 종류에 따라 시험소간 다소 차이를 보였으나 작은 편차로서 시험목표에는 모두 만족하는 결과를 얻었다.

<표9> SBR 고무의 RRT 시험

| 시 험 항 목 | | 기술표준원 | 일반고무공장 | 비숙련자 | 편차(%) |
|------------|------------|-------|--------|------|-------|
| 인장강도(MPa) | | 11.4 | 11.9 | 11.2 | 6.1 |
| 신장률(%) | | 330 | 340 | 340 | 3 |
| 인열강도(N/mm) | | 37.7 | 36.3 | 37 | 3.8 |
| 경도(Hs) | | 58 | 60 | 61 | 5 |
| 노화 시험 | 인장강도(MPa) | 10.6 | 10.9 | 10.3 | 5.6 |
| | 신장률(%) | 250 | 260 | 250 | 3.9 |
| | 인열강도(N/mm) | 31.5 | 30.4 | 31.1 | 3.5 |
| | 경도(Hs) | 60 | 63 | 64 | 6.4 |

<표 10> NBR 고무의 RRT 시험

| 시 험 항 목 | | 기술표준원 | 숙련자 | 일반고무공장 | 비숙련자 | 편차(%) |
|------------|------------|-------|------|--------|------|-------|
| 인장강도(MPa) | | 14.5 | 15.2 | 14.8 | 14.5 | 4.8 |
| 신장률(%) | | 360 | 360 | 350 | 340 | 5.6 |
| 인열강도(N/mm) | | 35.6 | 34.7 | 34.2 | 35.1 | 2.6 |
| 경도(Hs) | | 62 | 66 | 64 | 66 | 4.7 |
| 노화 시험 | 인장강도(MPa) | 14.1 | 14.6 | 14 | 13.9 | 5 |
| | 신장률(%) | 300 | 300 | 290 | 290 | 3.4 |
| | 인열강도(N/mm) | 35.5 | 33.9 | 33.9 | 33.3 | 4.7 |
| | 경도(Hs) | 67 | 69 | 65 | 66 | 6 |



연구보고

<표 11> EPDM 고무의 RRT 시험

| 시 험 항 목 | 기술표준원 | 숙련자 | 비숙련자 | 편차(%) | |
|------------|------------|------|------|-------|-----|
| 인장강도(MPa) | 6.23 | 6.68 | 6.54 | 6.9 | |
| 신 장 륜(%) | 210 | 220 | 220 | 4.6 | |
| 인열강도(N/mm) | 21.2 | 22.7 | 22.5 | 4.9 | |
| 경 도(Hs) | 66 | 65 | 66 | 1.5 | |
| 노화 시험 | 인장강도(MPa) | 5.89 | 6.25 | 6.05 | 6 |
| | 신 장 륜(%) | 150 | 160 | 160 | 6.4 |
| | 인열강도(N/mm) | 20.9 | 21.6 | 20.2 | 6.6 |
| | 경 도(Hs) | 68 | 67 | 69 | 3 |

5. 결 론

본 연구에서는 미가황 고무의 동일한 시료내 최대값과 최소값의 차이가 10% 이내, 동일 배합비로 제조된 시편내의 시험값 8% 이내, RRT 시험소간의 편차 10% 이내를 목표로 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SBR, NBR 및 EPDM 원료고무에 대해 균질성이 확보된 배합설계 및 성형 조건 확립할 수 있었다.
 - 동일한 방법에 의한 성형시간 최대, 최소값의 차가 10% 이내
 - 시험편간 편차는 비숙련자의 경우도 5%의 편차 결과를 나타내었다.
 - 시험소간 편차는 6%로 나타났다.
2. KS M 6781(가황고무 물리시험 방법 통칙)의 부속서 “균질한 가황고무 시험편 만드는 법을 추가하는” 개정(안)을 작성하고 있다.

본 연구 결과로 고무분야 산업계 작업자에 대한 고무배합 지침서로, 시험인증기관의 숙련도 평가를 위한 시험편의 제조방법 지침서로, 고무관련 시험 방법개발을 위한 시험편의 배합설계 및 제조방법 지침서로 활용하고자 한다.

<참 고 문 헌 >

1. 일본고무학회, “고무기술의 기초”, 한국신발 피혁연구소, 2000.
2. 일본고무공업협회, “고무공업연감”, 세화, 1994.
3. 한국고무학회, “고무종합데이터”, 기술, 1990.
4. 유기탄성체연구회, “고무과학과 기술”, 미래칼, 2001.