



Chemtura Corporation
Technical Business Support
199 Benson Road
Middlebury, CT 06749
800-243-5098 **tel**
203-573-2525 **fax**

노화방지제 사용에 의한 HNBR, ACM과 EAM의 내열성 개선

Bob Ohm

Crompton Corporation, Uniroyal Chemical products and services

**Presented at a meeting of the
Connecticut Rubber Group**

April 6, 2004

노화방지제 사용에 의한 HNBR, ACM과 EAM의 내열성 개선

Bob Ohm

개요

언더-후드 응용에 흔히 사용되는 수첨-니트릴-부타디엔 고무(HNBR), 폴리아크릴 엘라스토머(ACM)과 에틸렌-아크릴 엘라스토머(EAM)에 다양한 노화방지제들이 평가되었다. 컴파운드는 177 °C 건조 공기에서 21일까지 노화시키고, 선택적으로 침적 중 추출될 수 있는 가용 노화방지제를 제거하기 위하여 ASTM 901오일에 먼저 침적하였다. 개별 시험관이나 셀오븐에 방치된 샘플에 유사한 노화 시험이 진행되었다.

1차 혹은 라디칼 포집 노화방지제를 비교하였으며, 선택적으로 2차 혹은 공동 노화방지제를 첨가된 것보다도 비교하였다. 시험 조건하에서 공동 노화방지제들은 1차 노화방지제의 총량과 상응하는 것보다 나아지지는 않았다. 위 세가지 폴리머에서, 177 °C 에서의 최상의 노화 예측 변수는 노화방지제의 첨가량이다. 다음의 실험에서 Naugard® 445가 고온 성능을 위한 가장 이로운 것임이 밝혀졌다.

도입

고무제품들은 노화에 민감하다. 단지 폴리머에 소량의 산소 결합만으로도 고무제품 물성에 심각한 분해를 일으킬 수 있다. 열은 폴리머에 산소 결합 속도를 매우 증가시킬 수 있으며, 온도가 10°C 상승될 때마다 그 분해 속도는 약 두 배가 된다. 실온과 70 °C 사이에서는 약 50배의 속도차이가 발생한다. 다시 말해서, 언더-후드용 엘라스토머의 150 °C의 서비스 온도에서 관찰되는 변화를 비교해볼 때, 실온에서의 변화보다 약 8,000배가 더 빠를 것이다.

노화 메커니즘

폴리머의 노화는 자유 라디칼 과정을 통하여 발생한다. 열, 빛 혹은 기계적인 스트레스 같은 에너지의 형태는 폴리머 결합을 파괴하고 카본 라디칼(C•)을 형성한 후 노화 과정이 시작된다. 그림 1에서처럼, 카본 라디칼은 순환 산화 공정에 관여한다. 산소 존재하에서, peroxy 라디칼(COO•)이 형성되고, peroxy 라디칼은 폴리머 구조로부터 수소 이온을 추출하여 다른 카본 라디칼과 hydroperoxide(COOH)로 합성될 수 있다. Hydroperoxide는 열 조건하에서 분해되어 alkoxy 라디칼(CO•)과 hydroxyl radical (HO•) 두 개의 추가 자유 라디칼을 형성하며, 이들 각 라디칼은 폴리머 구조로부터 수소를 추출하여 더 많은 카본 라디칼들을 형성케 한다.

각 순환 사이클마다, 반응 거동 화살표에 따른 추가적인 자유 라디칼이 생성된다. 그러나, 왜 자유 라디칼이 증가되는 것에 염두에 두어야 하는가? 그 정답은 그림 2에서 보여지는 자유 라디칼의 섭리에 있다. 두 자유 라디칼(C•와 CO•)은 서로 결합하여 새로운 가교형태로 종료될 수 있다. 많은 이중 결합을 가지는 폴리머는 폴리머 라디칼들에 대해 많은 추가 반응 사이트를 제공하고, 다시 더 많은 가교를 이끌어낸다.

이 시점에서, 산화는 과산화물 가교와 닮았다. 과산화물은 자유 라디칼을 생성하고 폴리머를 가교시킨다. 폴리부타디엔 같은 많은 이중결합을 함유하는 조촉매의 첨가는 주어진 과산화물의 총량으로부터 형성되는 가교의 숫자를 증가시킨다.

어떤 폴리머들은 과산화물에 의해 가교가 될 수 없다. 이러한 폴리머는 산화 도중 리버전 혹은 사슬 절단을 겪는 경향이 있다. 절단은 가지가 많거나 많은 사이드 그룹을 가진 폴리머에서 더욱 더 잘 일어난다. 노화 도중, 3차 alkoxy 혹은 카본 라디칼들은 베타 절단이 일어나는 곳 혹은 저분자량 파편으로 쪼개지는 단분자 분열이 발생하는 곳에서 생성된다.



노화방지제의 메커니즘

노화방지제는 그림 3에서 표시된 것과 같이, 산화과정중의 어떠한 단계에서 방해할 수 있는 물질들이다. 그러나, 어떤 단계들은 피해가기가 쉽다.

초기상태는 실제 카본-카본 결합의 힘에 의존한다. 만약 폴리머가 너무 많은 에너지를 흡수한다면 결합은 깨질 것이다. 폴리머의 구조는 단지 얼마나 많은 에너지를 견디느냐에 달려 있다.

카본 라디칼들(C•)은 매우 활동적이고 몇 물질들은 이 중간물질들을 효과적으로 제거할 수 있다. N,N'-di-phenyl-p-phenylenediamine (Naugard® J) 와 mixed diaryl-p-phenylenediamine (Novazone® AS)같은 Diaryl p-phenylene diamine류는 카본 라디칼 포집제의 두 본보기이다.

대부분 일반적인 노화방지제는 산소라디칼을 포집하거나 hydroperoxides (COOH)를 분해한다. peroxy (COO•)라디칼과 alkoxy (CO•) 라디칼 포집제들은 아민류와 페놀류이다. 과산화물을 분해하는 노화방지제들은 tris-(nonyl phenyl) phosphite (Naugard® P) 같은 phosphite류와 nickel di-n-butylthiocarbamate (Naugard®NBC) 같은 dithiocarbamates류이다.

일반적으로, 최대의 노화방지 효과를 위하여, 첫 번째 단계에서 산화과정을 억제하는 것이 가장 효과적이다. 비록 언더-후드용 엘라스토머 연구에서 일반 1차 2차 노화방지제 조합 사용에 의한 상승효과를 발견할 수 없었지만, 두 가지 형태의 노화방지제 - 라디칼 포집제과 과산화물 분해제-를 조합하여 사용하는 것이 단독으로 각각 사용되는 것보다 산화노화에 훨씬 더 보호효과를 나타낼 수 있다.

alkoxy 와 peroxy 라디칼 포집제 노화방지제의 예로는 hindered amine류 (i.e. octylated diphenylamine, Octamine®) 와 phenol류 (i.e. butylated hydroxytoluene, Naugard® BHT)이다. BHT 작용 메커니즘은 그림 4에서 보여진다. hindered phenol이 단독으로 사용될 때, 두 가지 라디칼과 반응되며 “반드시 소비된다” 그리고 더 이상 폴리머를 보호하지 못 할 것이다. 이러한 보호, 분해 반응들은 쉽게 관찰될 수 있지만, 좀 더 복잡하고 원하지 않는 부 반응들이 발생 할 수 있다. 예를들면, phenoxy라디칼의 para위치에서 alkoxy반응에 의한 quinone 형성은 변화된 diene구조 때문에 색상 변색을 이끌어 낸다.

과산화물 분해 노화방지제는 Naugard® P의 그림 5의 윗부분에서 보여지듯이 hydroperoxide(COOH)와 직접적으로 반응할 수 있다. phosphite 노화방지제는 과산화물이 무해 알코올로 감소되는 동안에 phosphate 로 산화된다. 게다가 과산화물 분해제 노화방지제는 “소비된” phenolic 노화방지제와 반응하여 보호작용을 회생시키는 것으로 판단된다. 이것은 두 노화방지제 조합에서 단독보다는 더 오랫동안 보호기간을 제공할 수 있는 또 다른 방법이다. 이차 노화방지제인 phosphite의 첨가는 보통 phenol 단독 사용과 비교해 볼 때 향상된 색상을 제공한다

그림 6은 hindered amine노화방지제가 동류의 라디칼 포집 phenolic 대응품처럼 동일한 두 기초반응을 겪는 것을 보여준다. 게다가, amine류는 포집 라디칼의 소모 없이 연속적으로 순환 공정에 들어갈 수 있다. 이것은 상승된 온도에서 더 오랜 수명을 산출할 수 있다.

노화방지제는 물리적 수단에 의해 또한 소모될 수 있는데, 만약 휘발성이라면, 고온에서 고무제품으로부터 휘발될 것이다. 177 °C에서 몇 가지 amine 노화방지제의 휘발성 비교를 그림 7에 나타내었다.

alkylated phenyl-alpha-naphthylamine (Naugard® PANA)는 다른 amine류와 비교해볼 때 가장 휘발성이 높다. 가장 휘발성이 적은 세 가지의 노화방지제는 N-Phenyl-N'-(p-toluenesulfonyl)-p-phenylenediamine(Aranox®), 2,4,6-tris-(N-1,4-dimethylpentyl-p-phenylenediamino)-1,3,5-triazine (Durazone® 37) 과 alpha-methylstyrenated diphenylamine (Naugard® 445)이다. Naugard® 445는 유사한 휘발성을 가진 octylated (Octamine®) 과 styrenated (Naugalube® 635)보다 우수하다.

시험 용액에 침적시키는 고무 제품에서, 시험 용액은 노화방지제를 고무 제품 밖으로 추출할 수 있다. 그림 8은 근래 탄화수소계 자동차 오일용으로 좋은 모델인 heptane에서의 몇 가지 amine계 노화방지제의 상대 용해도를 나타내었다. 최소 용해 노화방지제들(Naugard® 445, Naugard® J 와 Naugard® Q)은 좀 더 고무 속에 남아있기 쉽고 탄화수소계 오일에 침적될 시에도 좀 더 오랫동안 보호 효과를 제공한다.

Hydrogenated Nitrile-Butadiene Rubber (HNBR)

HNBR 공급자들은 최상의 고온 노화를 위하여 Naugard® 445 와 toluimidazole의 조합을 추천한다. 그러나 각 노화방지제의 최적 첨가량은 HNBR 제조사마다 다르다. 각 노화방지제의 최적률을 결정하기 위하여 중심 합성 설계 실험(A central composite design experiment)이 착수된다.

HNBR 기초 배합과 초기 물성은 표 1에 나타내었다. Naugard® 445는 과산화물 가교 컴파운드에서 라디칼 포집 노화방지제로 기대되는 것처럼 최대 토크값을 현저히 낮춘다. zinc 2-mercaptotoluimidazole (ZMTI)는 자유라디칼을 포집하지 못하기 때문에, Table IV에서 처럼 Naugard® 445의 총량 보다는 노화방지제의 총량이 더 좋은 단일 예측변수라는 것이 놀랍다

초기 물성은 노화방지제에 의해 비교적 영향을 받지 않는다. 경도와 모듈러스는 노화방지제 첨가로 조금 감소하고; 신율은 증가한다. 샘플 D와 E는 비교적 낮은 인장과 신율을 보이는 예외인 것으로 보인다. 이러한 이유로 노화 데이터 분석은 원래의 물리적 성질 변화가 아니라 노화된 물성만을 관찰한다.

각 노화방지제는 phr당 압축줄음을 약 1%를 손상시킨다.

Table II 와 같이 177 °C에서 3일, 7일동안의 HNBR 컴파운드 노화에서 신율은 감소되고 경도와 모듈러스는 증가한다. 노화방지제의 모든 조합들에서 변화율은 비슷하다. 177 °C, 21일 이후, Naugard® 445가 없는 1 phr ZMTI의 샘플은 거의 부서진다. 다른 모든 샘플도 대략 같은 첨가량에 의해 신율 감소와 경도, 모듈러스 증가가 계속된다.

대부분의 노화된 HNBR물성은 노화방지제의 레벨과는 상관관계가 없다. 직접적으로, 노화방지제들은 비슷하게 거동하며, 어떠한 상승효과도 분명하지 않다. 노화방지제의 변동과 강력하게 상관관계를 가지는 유일한 특성은 177 °C, 7일 이후의 100% 모듈러스 값이다. 이 한가지 조건에서, Naugard® 445는 모듈러스 증가를 억제하는 중요한 인자이다.

대체로, 유지력(retained properties)에서 노화방지제의 효과는 단지 미미하게 실험오차 위에 있으므로, 주 작용효과를 결정하는 유일한 방법이다. 그럼에도 불구하고 Naugard® 445와 함께 toluimidazole사용에서 어떤 현저한 상승효과는 발생하지 않는다

150 °C, 3일동안 ASTM 901오일에 침적된 HNBR컴파운드를 건조한 후, 3일, 7일 그리고 21일간 177 °C 오븐 속에서 노화시킨다. 이 실험의 목적은 공기 노화 이전에 용해 가능한 노화방지제를 추출하려는 것이다. 결과는 Table III에서 보여준다.

오일에서 이미-추출시킨 HNBR 컴파운드는 단지 공기 노화를 시킨 것보다 매우 부실한 물성을 준다. Table III에서, ZMTI 단독으로 사용하여 오일에 침적시킨 후, 177 °C 공기에 3일 동안

노화된 샘플 F는 100%보다 신율값이 낮다. 오일 침적 후 177 °C 공기에 7일 노화된 샘플 뿐만 아니라 몇몇 다른 몇 가지 샘플은 거의 부서지고, 21일 이후는 모든 샘플이 부서진다. 오일 추출 다음에 공기 노화에서, 3일, 7일 노화 후의 성능이 가장 좋은 단일 예측변수는 노화방지제의 총량이다. 두 노화방지제를 같이 사용할 때 상승효과의 증거는 아무것도 없다.

놀랍게도, 비록 시험관이 제한된 산소 접촉과 낮은 순환에도 불구하고 각각 시험관(혹은 셀오븐)에서 21일간 노화된 HNBR 샘플들은 공기오븐에서 동일하게 노화시킨 샘플 보다 더욱 심각하게 악화된다. 반면에 Naugard® 445 가 셀오븐 시험에서 노화방지 효과가 ZMTI보다 다소 좀 더 효과적인 것으로 보인다. 그림 9에서, 노화 인장과 노화 신장율이 상당히 좋은 변수는 노화방지제의 총 함량이라는 것을 알 수 있다.

Polyacrylic Elastomer (ACM)

폴리머 공급자들은 ACM의 고온 노화에 최적의 노화방지제로 Naugard® 445를 추천한다. trithiocyanurate 혹은 soap/sulfur 가교 시스템에서, sodium ethylhexyl sulfate와 thioester, toluimidazole(ZMTI)와 phosphite (Naugard®P)를 포함하여 다양한 공동 노화방지제와 Naugard®445의 보강 성능을 비교하였다.

Table V는 trithiocyanurate를 가교시스템으로하는 ACM컴파운드가 비누/유황 가교 컴파운드보다 낮은 신장율과 영구압축줄음률을 가지는 것을 보여준다. ZMTI 병행 첨가는 위 두 가교에 지장을 주는데, ZMTI를 함유한 두 컴파운드는 고신장, 저인장과 나쁜 압축줄음율을 준다. 나타나지는 않지만 2-mercaptotoluimidazole사용은 미가황생지의 스테인레스 스틸 몰드에 오염을 준다.

Table VI은 177 °C 에 3,7,21일간 공기 오븐에서 노화된 ACM컴파운드를 보여주고 있다. 모든 컴파운드는 경도와 모듈러스 증가가 함께 인장과 신율 감소를 보인다. 노화방지제를 함유한 모든 컴파운드는 처방되지 않은 것보다 좀 더 나은 노화물성을 주고 있다. 노화방지제가 공동 첨가된 몇 컴파운드는 Naugard® 445 2phr가 단독으로 사용된 것보다 좀 더 나은 노화 신율을 주는 반면에, Naugard® 445 4phr 단독으로 사용한 것보다 더 좋은 것은 없었다. 그러므로 이 폴리머에서 어떠한 상승효과의 이점은 없는 것으로 보인다.

Table VII 을 보면, 901 oil 침적 이후, 모든 ACM컴파운드는 경도, 모듈러스와 인장은 감소, 신율은 증가됨을 보여준다. 177 °C 오븐에 노화한 후에는 경도 상승과 함께 인장, 신율 감소를 불러온다. Naugard® 445 단독으로 4phr가 사용된 컴파운드는 Naugard® 445 2phr와 함께 공동 사용된 것과 동등한 노화를 보였다.

오븐기에서 공동적으로 노출될 때 휘발성 노화방지제는 샘플간에 이동할 수 있기 때문에, ASTM 901오일에 먼저 침적시킨 것이건 그렇지 않은 것이라도 ACM컴파운드 모두 개별 시험관에서 177 °C 에 21일간 각각 노화시킨다. 모든 샘플들은 이러한 노출 이후 심각하게 분해되지만, 공기오븐에서 노화시킨 뒤 관찰된 것보다 그렇게 나쁘지는 않았다. 셀오븐에서 더욱 낮은 산소 턴오버로 인하여 미미하게 개선된 것으로 보인다.

Ethylene-Acrylic Elastomer (EAM)

EAM에 대한 시험 배합, 가교 특성, 초지 물성과 압축줄음율을 Table IX에 나타내었다. 모든 컴파운드는 일반적으로 유사한 성질을 제공한다.

Table X 에서처럼, 모든 EAM컴파운드는 오븐 노화 이후 경도, 모듈러스는 증가하고 인장강도와 신율은 동시에 감소한다. Naugard® 445와 Naugalube® 635 (styrenated diphenylamine)를 함유한 컴파운드는 이러한 노화조건들에서 가장 적은 물성 변화를 보여준다.

이러한 노화방지제의 이점들은 특히 3, 7일 노화에서 주목할 만하다.

노화 단계 중 Durazone®37을 포함하는 컴파운드는 노화방지제가 없는 일반 배합보다 경도, 모듈러스가 가장 많이 증가함을 보이는데, 삼관능기 물질이 상승된 온도에서 가교가 촉진된 것일 수 있다.

Table XI은 901오일 침적후의 EAM컴파운드 시험을 보여주는데, 단순히 오일 침적 이후, 모든 컴파운드는 경도, 모듈러스와 인장강도는 감소하고 신율은 증가한다. 침적 이후 177 °C 오븐 노화에서는 경도는 증가하고 인장, 신율은 감소한다. Naugard® 445를 포함한 컴파운드는 177 °C에서 3일간 노화 후 경도와 신율에서 적은 변화를 보여주었다. Aranox® 를 포함한 컴파운드는 177 °C, 3일과 7일 노화 후 인장과 신율에서 최상의 유지율을 보여주었다. 아랫면에서, Durazone® 37을 포함한 컴파운드는 177 °C , 3일 노화에서 더욱 더 높은 경도와 함께 더욱 낮은 인장과 신율을 주는 유해인자이다. 이러한 유해인자는 7일 노화에서도 여전히 나타난다.

셀오븐 노화 이후 EAM 컴파운드들은 Table XII에 나타내었다. 모든 샘플들은 이러한 노출 뒤에 심각하게 분해되었지만 오븐 노화에서 관찰된 것보다 그리 심하지는 않았다. 셀오븐에서는 더욱 낮은 산소 턴오버로 인하여 미미하게 개선된 것으로 보인다.

SUMMARY

HNBR, ACM과 AEM의 고온 노화는 다양한 노화 조건하에서 조사되었다. 몇가지 1차 노화방지제들이 비교되었으며, 부분적으로 2차 노화방지제 혹은 “공동첨가제”와 함께 비교되었다. 177 °C 에서 모든 세가지 언더-후드 폴리머들에서 최상의 성능은 Naugard® 445 한가지 노화방지제에서 달성되었다. 노화방지제 조합에서 시너지효과는 발견되지 않았다. 2차 노화방지제 몇가지 추가적인 잇점을 제공한 소수의 경우에는 Naugard® 445의 첨가량 증가만으로 동등한 개선을 관찰할 수 있었다. Naugard® 445의 유용한 성능은 제품의 낮은 휘발성과 탄화수소에서의 낮은 용해도에 기인한 것 같다; 이 두 인자들은 각 서비스 조건에서 노화방지제의 최대 성능을 이끌어 낸다.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge Crompton Corporation's Uniroyal Chemical business, for supporting the preparation of this report and permitting us to present it.

REFERENCES

1. Technical Service Report 33, Evaluation of Antioxidants in Hydrogenated Nitrile-Butadiene Rubber.
2. Technical Service Report 34, Evaluation of Antioxidants in Hytemp® Polyacrylate Elastomer.
3. Technical Service Report 31, Evaluation of Antioxidants in Vamac® Ethylene-Acrylic Elastomer.

© 2004 Chemtura Corp. All rights reserved

Naugard445 in HNBR ACM & EAM.doc

The information contained herein is correct to the best of our knowledge. Your attention is directed to the pertinent Material Safety Data Sheets for the products mentioned herein. All sales are subject to Chemtura's standard terms and conditions of sale, copies of which are available upon request and which are part of Chemtura's invoices and/or order acknowledgments. Except as expressly provided in Chemtura's standard terms and conditions of sale, no warranty, express or implied, including warranty of merchantability or fitness for particular purpose, is made with respect to the products described herein. Nothing contained herein shall constitute permission or recommendation to practice any invention covered by a patent without a license from the owner of the patent.



Fig. 1 - 순환 산화 공정

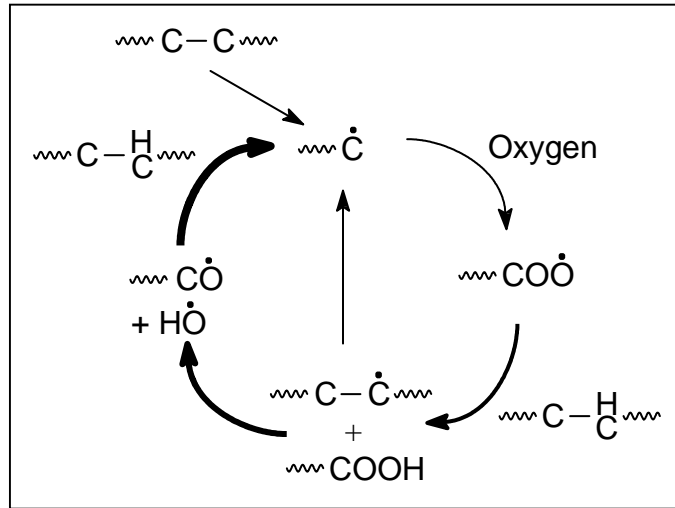


Fig. 2 - 폴리머 라디칼들의 운명

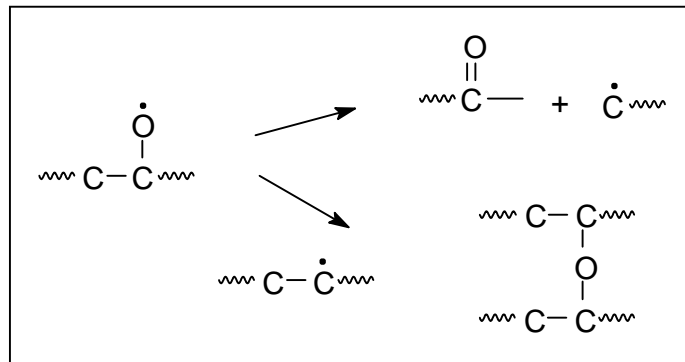


Fig. 3 - 어떻게 노화방지제가 고무를 보호하는가

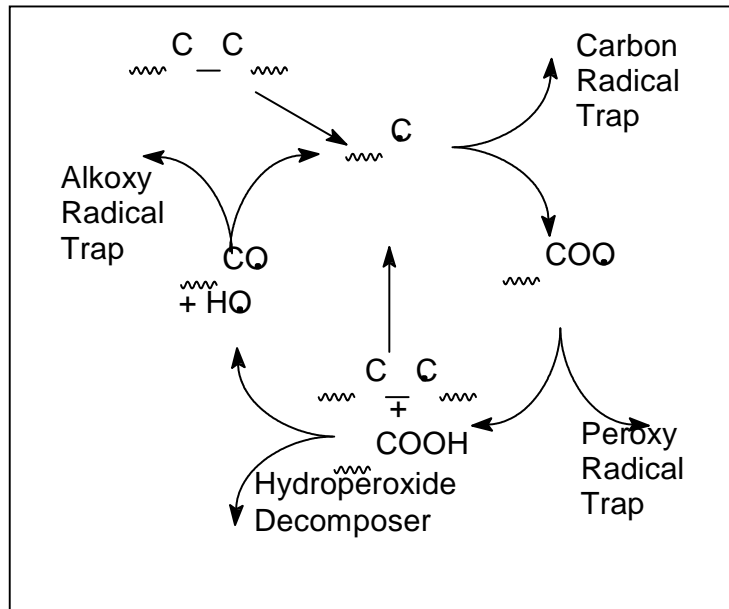


Fig. 4 -Alkoxy 라디칼 포집 기능

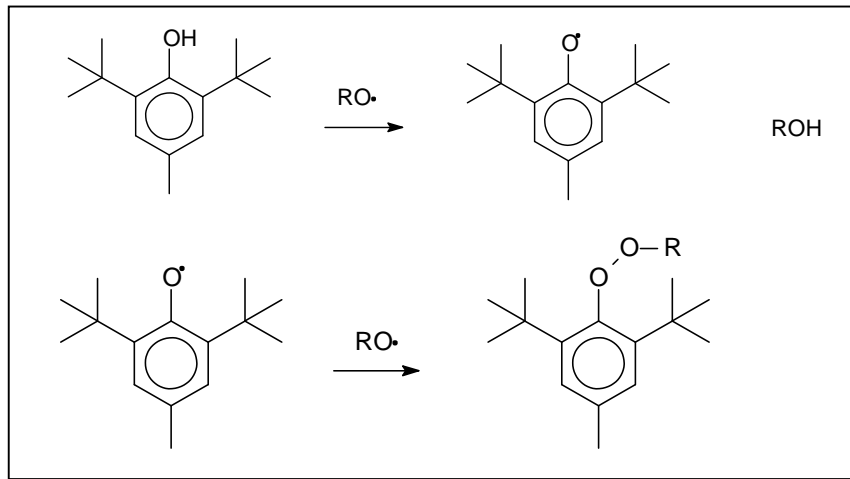


Fig. 5 - 과산화물 분해 기능

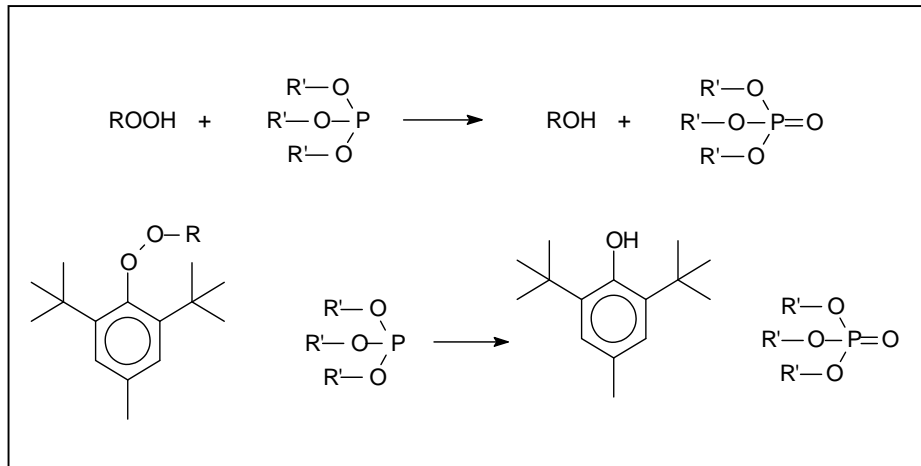


Fig. 6 - Amine 노화방지제의 특색

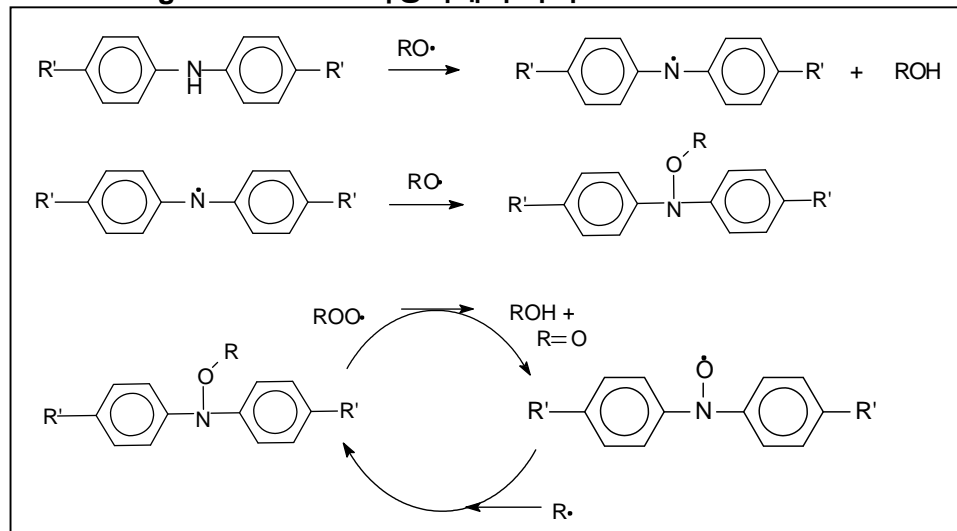


Fig. 7 -177 °C에서의 노화방지제 휘발성

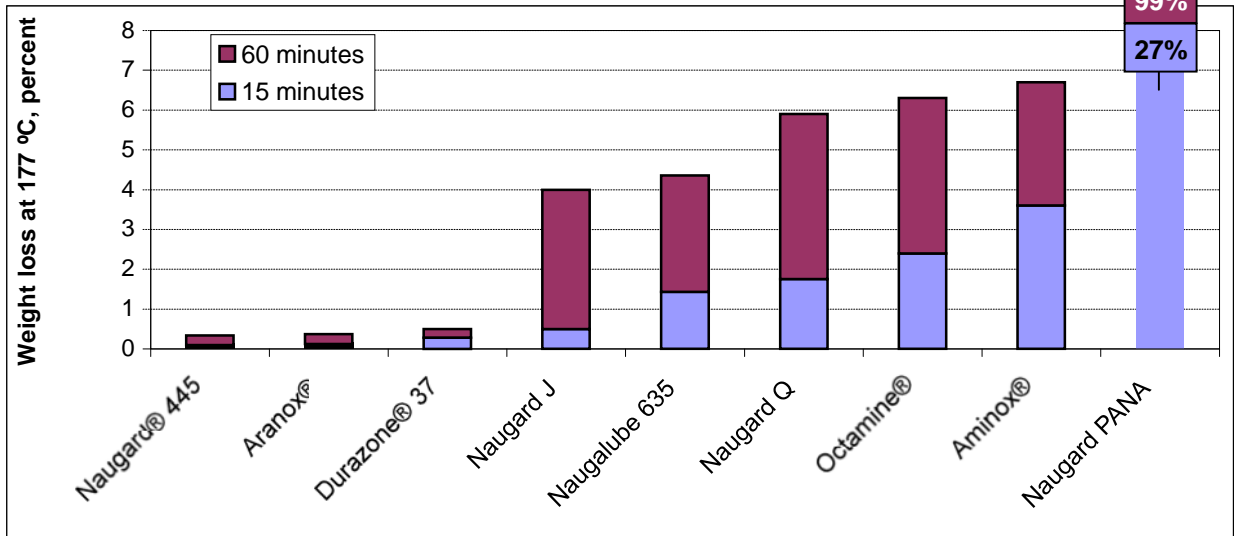


Fig. 8 -Heptane에서의 노화방지제 용해도

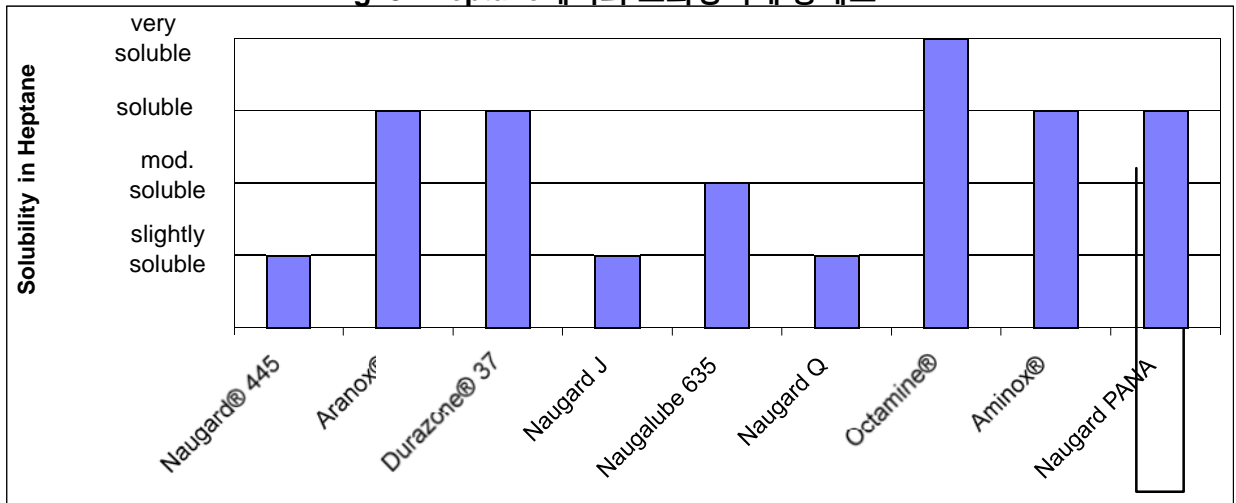


Fig. 9 - 177°C에서의 HNBR 컴파운드의 셸오브 노화¹

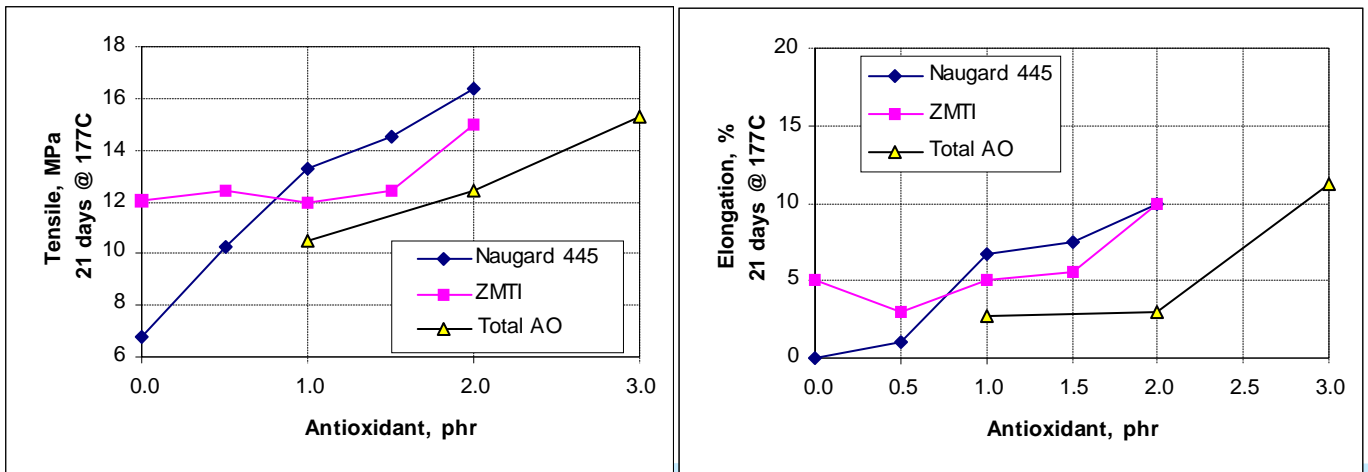


Table I
HNBR 배합과 성질¹

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	<u>MB</u>								
HNBR	100.0	} For all							
Zinc Oxide	5.0								
N-762 Black	50.0								
MBM	3.0								
Processing Aid - 1	<u>2.0</u>								
Total	160.0								
Naugard [®] 445	2.0	0.5	0.5	1.5	1.0	0.0	1.0	1.5	1.0
ZMTI	1.0	0.5	1.5	0.5	0.0	1.0	2.0	1.5	1.0
Bis Peroxide	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Rheometer at 177 °C									
ML, dN-m	6.4	8.8	9.3	9.6	10.2	9.7	9.4	9.4	9.6
(in-lb)	5.7	7.8	8.2	8.5	9.0	8.6	8.3	8.3	8.5
MH, dN-m	72.3	81.5	80.2	77.6	80.2	82.2	76.7	75.0	78.9
(in-lb)	64.0	72.1	71.0	68.7	71.0	72.7	67.9	66.4	69.8
ts2, minutes	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
t'c90, minutes	5.7	5.4	5.5	5.3	5.5	5.3	5.5	5.5	5.4
Physical Properties									
Cured 14 minutes at 177 °C									
Hardness, Shore A	70	72	71	71	71	71	71	71	70
100% Modulus, MPa	8.2	10.7	10.8	9.4	10.5	11.7	9.7	10.0	11.2
(psi)	1190	1550	1570	1370	1530	1690	1410	1450	1620
Tensile Strength, MPa	27.4	27.9	27.6	23.9	24.3	27.1	27.4	26.5	25.4
(psi)	3980	4040	4000	3460	3520	3930	3980	3840	3680
Elongation, %	250	210	220	190	180	190	230	220	190
Aged 70 hours at 175 °C									
Compression set, %	26	23	25	23	25	23	28	25	25

Table II
HNBR의 공기오븐 노화¹

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Naugard® 445	2.0	0.5	0.5	1.5	1.0	0.0	1.0	1.5	1.0
ZMTI	1.0	0.5	1.5	0.5	0.0	1.0	2.0	1.5	1.0
Aged 3 days at 177 °C									
Hardness, Shore A	75	75	75	75	75	74	74	74	75
100% Modulus, Mpa	10.9	12.4	12.3	11.7	12.5	12.6	11.8	12.5	13.0
(psi)	1580	1800	1780	1700	1810	1830	1710	1810	1890
Tensile Strength, Mpa	26.9	28.1	27.9	27.4	24.0	26.6	26.9	27.2	27.1
(psi)	3900	4070	4040	3970	3480	3860	3900	3940	3930
Elongation, %	220	200	210	220	180	180	200	200	180
Tensile, % change	-2	1	1	15	-1	-2	-2	3	7
Elongation, % change	-12	-5	-5	16	0	-5	-13	-9	-5
100% Mod., % change	33	16	13	24	18	8	21	25	17
Hardness, points chg.	5	3	4	4	4	3	3	3	5
Aged 7 days at 177 °C									
Hardness, Shore A	77	76	76	76	77	76	77	77	76
100% Modulus, MPa	12.8	14.7	14.8	13.0	14.8	16.1	14.8	14.8	14.8
(psi)	1860	2130	2150	1880	2140	2330	2150	2140	2150
Tensile Strength, MPa	26.8	27.8	27.2	26.8	25.5	25.9	26.9	26.8	26.3
(psi)	3880	4030	3950	3890	3700	3760	3900	3880	3810
Elongation, %	210	190	180	200	160	150	170	190	170
Tensile, % change	-3	0	-1	12	5	-4	-2	1	4
Elongation, % change	-16	-10	-18	5	-11	-21	-26	-14	-11
100% Mod., % change	56	37	37	37	40	38	52	48	33
Hardness, points chg.	7	4	5	5	6	5	6	6	6
Aged 21 days at 177 °C									
Hardness, Shore A	81	81	81	80	80	86	82	80	81
100% Modulus, MPa	20.4	20.9	21.9	20.5	17.7			20.6	24.0
(psi)	2960	3030	3180	2980	2560			2990	3480
Tensile Strength, MPa	22.1	22.5	24.8	24.4	24.3	0.4	25.2	24.4	24.2
(psi)	3210	3270	3590	3540	3530	60	3660	3540	3510
Elongation, %	100	100	120	120	130	20	90	110	110
Tensile, % change	-19	-19	-10	2	0	-98	-8	-8	-5
Elongation, % change	-60	-52	-45	-37	-28	-89	-61	-50	-42
100% Mod., % change	149	95	103	118	67	-100	-100	106	115
Hardness, points chg.	11	9	10	9	9	15	11	9	11

Table III

공기오븐 노화 전 IRM 901오일 침적에서 추출된 HNBR 컴파운드¹

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Naugard 445	2.0	0.5	0.5	1.5	1.0	0.0	1.0	1.5	1.0
Vanox ZMTI	1.0	0.5	1.5	0.5	0.0	1.0	2.0	1.5	1.0
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil									
Then 3 days at 177 °C in Air									
Hardness, Shore A	78	79	79	77	79	79	79	78	78
100% Modulus, MPa	15.0	18.8	16.9	14.7	18.2		17.2	16.5	17.0
(psi)	2170	2730	2450	2130	2640		2490	2390	2460
Tensile Strength, MPa	23.7	21.2	21.9	21.7	19.2	19.0	23.1	22.7	22.8
(psi)	3440	3080	3170	3140	2780	2760	3350	3290	3310
Elongation, %	140	110	120	130	100	90	130	140	130
Tensile, % change	-14	-24	-21	-9	-21	-30	-16	-14	-10
Elongation, % change	-44	-48	-45	-32	-44	-53	-43	-36	-32
100% Mod., % change	82	76	56	55	73		77	65	52
Hardness, points chg.	8	7	8	6	8	8	8	7	8
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil									
Then 7 days at 177 °C in Air									
Hardness, Shore A	83	85	84	84	85	87	83	84	87
Tensile Strength, MPa	15.4	11.4	10.9	14.9	10.8	9.9	17.2	15.0	10.8
(psi)	2230	1660	1580	2160	1560	1430	2500	2180	1560
Elongation, %	50	20	30	40	30	10	60	40	10
Tensile, % change	-44	-59	-60	-38	-56	-64	-37	-43	-58
Elongation, % change	-80	-90	-86	-79	-83	-95	-74	-82	-95
Hardness, points chg.	13	13	13	13	14	16	12	13	17
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil									
Then 21 days at 177 °C in Air									
Hardness, Shore A	92	98	91	92	95	93	97	95	100
Tensile Strength, MPa	7.7	6.5	7.2	10.7	6.4	7.5	9.8	6.4	9.7
(psi)	1110	940	1040	1555	930	1085	1415	935	1405
Elongation, %	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Tensile, % change	-72	-77	-74	-55	-74	-72	-64	-76	-62
Elongation, % change	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-98	-100
Hardness, points chg.	22	26	20	21	24	22	26	24	30

Table IV

HNBR에서의 노화방지제 퇴행 분석¹

	Naugard				3-term model	1-term models, R ²	
	Constant	445	ZMTI	X ₁ X ₂	R ²	N-445	Total AO
ODR MH	83.8	-3.4	0.8	-1.4	94.5	73.8	81.8
Hardness	73.0	-1.5	-1.6	1.0	36.7		32.5
M-100	12.6	-1.9	-1.0	0.4	65.0	53.1	54.2
Tensile Strength	28.7	-3.6	-1.6	2.9	54.1	0.9	0.6
Elongation	183	3	42	20	64.6	52.4*	58.0
Compression set	22.3	4.0	4.3	0.0	46.0	32.1*	45.1
3 days @ 177 °C							
Hardness	74	1.2	0.2	-1.0	58.7	1.9	20.1
M-100	14.1	-1.6	-1.4	0.9	41.9	22.2	37.7
Tensile	26.3	0.4	0.6	0.0	12.8		
Elongation	145	45	41	-30	46.2	22.8	37.9
7 days @ 177 °C							
Hardness	77	0.5	-1.2	1.0	28.4	4.0*	1.7
M-100	17.3	-3.0	-1.5	1.7	79.9	69.7	20.1
Tensile	27.0	0.4	0.4	0.5	1.7		
Elongation	152	23	7	0	47.8	4.9	35.8
21 days @ 177 °C							
Hardness	83	2.0	0.3	0.0	32.3	0.7	18.7
M-100 (n=8)	19.5	0.3	2.0	4.0	18.4	6.6	0.7
Tensile	10.8	9.7	3.2	-2.2	34.3	0.8	20.1
Elongation	48	58	26	-30	30.9	0.9	2.7
Pre-extracted in ASTM 901 Oil							
Then 3 days @ 177 °C							
Hardness	80.5	-1.8	-1.4	4.0	32.0	21.7	26.6
M-100 (n=9)	23.7	-5.7	-4.9	3.7	60.7	26.8	44.4
Tensile	18.6	1.4	1.3	0.4	79.8	35.1	79.7
Elongation	79	23	22	0	74.2	35.2	74.1
Pre-extracted in ASTM 901 Oil							
Then 7 days @ 177 °C							
Hardness	88.4	-2.5	-2.5	4.0	51.9	22.4	51.5
Tensile	8.3	2.4	4.5	0.7	74.9	45.3	72.5
Elongation	-10	28	25	40	64.1	33.1	62.8
Pre-extracted in ASTM 901 Oil							
Then 21 days @ 177 °C							
Hardness	104.6	-10.7	-8.8	10.0	32.0	5.7*	1.1
Tensile	2.2	5.6	5.0	-5.0	30.6	5.1	2.3
Elongation	4.0	-4.2	-4.3	5.0	46.8	9.6*	10.1
Aged 21 days @ 177 °C in Cell Oven							
Hardness	91.4	0.5	0.3	4.0	28.0	24.2*	23.1
Tensile	6.6	4.6	1.5	0.0	89.5	79.6	68.1
Elongation	1.1	0.5	0.8	5.0	75.9	41.7	71.6

* = ZMTI used instead of α MSDPA

Strikethrough = t-stat < 0.5

Table V
ACM 배합과 성질²

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
ACM	100.00	}	For all									
N550 Carbon Black	65.00											
Stearic Acid	2.00											
Processing Aid -2	2.00											
TCY	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	---	---	---	---	---	---	
ZDBC	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	---	---	---	---	---	---	
CTP Retarder	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	---	---	---	---	---	---	
Sodium Stearate	---	---	---	---	---	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Potassium Stearate	---	---	---	---	---	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
Sulfur	---	---	---	---	---	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Naugard [®] 445	---	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	
ZMTI	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---	---	
Thioester	---	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---	
Phosphite	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---	---	
Sodium ethylhexyl sulfate	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---	
Rheometer at 177 °C												
ML, dN-m	5.7	5.6	5.7	5.1	5.1	5.9	8.1	5.3	5.1	5.4	5.5	
(in-lb)	5.0	4.9	5.0	4.5	4.5	5.2	7.2	4.7	4.5	4.8	4.8	
MH, dN-m	43.0	42.6	22.8	40.4	41.0	26.1	13.5	16.9	24.7	26.7	27.3	
(in-lb)	38.1	37.7	20.2	35.8	36.3	23.1	12.0	15.0	21.9	23.6	24.2	
ts2, minutes	2.2	2.3	3.5	2.3	2.5	2.4	5.4	1.9	2.3	2.8	2.5	
t'c90, minutes	9.7	10.2	14.2	9.9	11.3	17.3	19.1	15.0	17.5	18.3	16.9	
Physical Properties												
Cured 30 minutes at 177 °C												
Post Cured 4 hours at 175 °C												
Hardness, Shore A	72	67	68	70	71	65	62	65	62	63	62	
100% Modulus, MPa	9.3	8.7	3.9	8.7	9.0	6.0	1.6	5.1	4.6	5.2	5.4	
(psi)	1350	1260	560	1260	1310	870	230	740	660	750	780	
Tensile Strength, MPa	11.7	9.4	9.2	11.0	11.3	10.5	6.4	10.7	9.0	9.8	10.1	
(psi)	1690	1360	1330	1590	1640	1520	930	1550	1300	1420	1460	
Elongation, %	130	110	280	150	150	190	500	220	260	200	210	
Aged 70 hours at 175 °C												
Compression set, %	49	44	60	44	41	75	100	69	73	76	73	

Table VI
ACM 배합의 공기 오븐 노화²

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
TCY Cure	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	---	---	---	---	---	---
Soap / Sulfur Cure	---	---	---	---	---	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Naugard [®] 445	---	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00
ZMTI	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---	---
Thioester	---	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---
Phosphite	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---	---
Sodium ethylhexyl sulfate	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---
Aged 3 days at 177 °C											
Hardness, Shore A	77	77	70	78	74	68	71	70	63	71	70
100% Modulus, MPa	10.8	7.8	4.1	8.9	7.7	4.1	2.5	4.1	3.6	3.2	3.6
(psi)	1560	1130	600	1290	1110	590	360	600	520	470	520
Tensile Strength, MPa	11.4	11.1	8.2	11.0	10.7	9.1	5.4	9.4	9.1	8.3	8.1
(psi)	1650	1610	1190	1590	1550	1320	780	1370	1320	1200	1180
Elongation, %	110	150	250	130	150	220	440	230	250	250	240
Tensile, % change	-2.4	18.4	-10.5	0.0	-5.5	-13.2	-16.1	-11.6	1.5	-15.5	-19.2
Elongation, % change	-15.4	36.4	-10.7	-13.3	0.0	15.8	-12.0	4.5	-3.8	25.0	14.3
Hardness, points chg.	5.0	10.0	2.0	8.0	3.0	3.0	9.0	5.0	1.0	8.0	8.0
Aged 7 days at 177 °C											
Hardness, Shore A	90	84	85	86	80	74	80	80	74	73	78
100% Modulus, MPa			6.3		8.2	4.4	5.3	4.8	3.4	4.3	3.8
(psi)			920		1190	640	770	700	500	630	550
Tensile Strength, MPa	6.1	8.0	6.6	7.8	8.0	6.5	6.3	7.1	6.4	6.6	5.9
(psi)	890	1160	960	1130	1160	940	920	1030	930	960	860
Elongation, %	10	90	110	70	100	160	150	150	190	160	180
Tensile, % change	-47.3	-14.7	-27.8	-28.9	-29.3	-38.2	-1.1	-33.5	-28.5	-32.4	-41.1
Elongation, % change	-92.3	-18.2	-60.7	-53.3	-33.3	-15.8	-70.0	-31.8	-26.9	-20.0	-14.3
Hardness, points chg.	18.0	17.0	17.0	16.0	9.0	9.0	18.0	15.0	12.0	10.0	16.0
Aged 21 days at 177 °C											
Hardness, Shore A	93	90	90	88	94	88	88	87	82	84	84
Tensile Strength, MPa	0.6	7.5	7.3	1.9	7.7	8.5	8.5	9.0	8.5	8.6	7.9
(psi)	80	1090	1060	280	1120	1230	1230	1310	1240	1250	1150
Elongation, %	20	30	20	30	30	40	20	30	70	40	70
Tensile, % change	-95.3	-19.9	-20.3	-82.4	-31.7	-19.1	32.3	-15.5	-4.6	-12.0	-21.2
Elongation, % change	-84.6	-72.7	-92.9	-80.0	-80.0	-78.9	-96.0	-86.4	-73.1	-80.0	-66.7
Hardness, points chg.	21.0	23.0	22.0	18.0	23.0	23.0	26.0	22.0	20.0	21.0	22.0

Table VII

공기오븐 노화 전 IRM 901 오일 침적에서 추출된 ACM 컴파운드²

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
TCY Cure	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	---	---	---	---	---	---
Soap / Sulfur Cure	---	---	---	---	---	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Naugard [®] 445	---	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00
ZMTI	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---	---
Thiester	---	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---
Phosphite	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---	---
Sodium ethylhexyl sulfate	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---
Aged 93 hours at 150 °C in ASTM 901 Oil											
Hardness, Shore A	69	71	68	69	70	65	65	66	65	68	65
100% Modulus, MPa	7.9	7.7	3.4	7.0	8.1	5.1	1.6	4.5	5.2	4.4	5.2
(psi)	1150	1115	495	1020	1175	740	225	650	760	640	755
Tensile Strength, MPa	10.3	11.6	8.7	10.1	11.3	10.4	5.0	10.7	10.3	10.3	10.3
(psi)	1495	1680	1265	1465	1640	1510	725	1545	1495	1490	1495
Elongation, %	130	175	295	150	170	230	590	220	225	220	215
Tensile, % change	-11.5	23.5	-4.9	-7.9	0.0	-0.7	-22.0	-0.3	15.0	4.9	2.4
Elongation, % change	0.0	59.1	5.4	0.0	13.3	21.1	18.0	0.0	-13.5	10.0	2.4
Hardness, points chg.	-3.0	4.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	3.0	1.0	3.0	5.0	3.0
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil											
Then aged 3 days at 177 °C											
Hardness, Shore A	83	81	81	83	80	72	72	77	76	73	76
Tensile Strength, MPa	3.9	5.7	9.2	7.1	12.1	9.7	8.9	11.0	10.2	10.3	11.0
(psi)	560	830	1340	1030	1760	1410	1290	1600	1480	1500	1600
Elongation, %	30	40	160	50	100	130	250	130	160	160	150
Tensile, % change	-66.9	-39.0	0.8	-35.2	7.3	-7.2	38.7	3.2	13.8	5.6	9.6
Elongation, % change	-76.9	-63.6	-42.9	-66.7	-33.3	-31.6	-50.0	-40.9	-38.5	-20.0	-28.6
Hardness, points chg.	11.0	14.0	13.0	13.0	9.0	7.0	10.0	12.0	14.0	10.0	14.0
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil											
Then aged 7 days at 177 °C											
Hardness, Shore A	81	86	87	89	84	80	83	81	79	81	78
Tensile Strength, MPa	5.0	4.1	8.1	3.8	4.1	9.7	9.6	9.4	9.4	8.1	9.0
(psi)	720	590	1180	550	590	1400	1390	1370	1370	1170	1310
Elongation, %	10	20	50	20	10	90	110	90	90	90	120
Tensile, % change	-57.4	-56.6	-11.3	-65.4	-64.0	-7.9	49.5	-11.6	5.4	-17.6	-10.3
Elongation, % change	-92.3	-81.8	-82.1	-86.7	-93.3	-52.6	-78.0	-59.1	-65.4	-55.0	-42.9
Hardness, points chg.	9.0	19.0	19.0	19.0	13.0	15.0	21.0	16.0	17.0	18.0	16.0

Table VIII

컴파운드의 셀오븐 노화²

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
TCY Cure	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	---	---	---	---	---	---
Soap / Sulfur Cure	---	---	---	---	---	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Naugard [®] 445	---	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00
ZMTI	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---	---
Thioester	---	---	---	2.00	---	---	---	2.00	---	---	---
Phosphite	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---	---
Sodium ethylhexyl sulfate	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.00	---
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil											
Then aged 21 days at 177 °C											
Hardness, Shore A											
Tensile Strength, MPa		9.1	10.5	10.3	11.0	7.4	10.1	7.8	6.6	4.3	6.1
(psi)		1320	1530	1490	1600	1080	1460	1130	950	620	880
Elongation, %		10	10	10	10	10					
Tensile, % change		-2.9	15.0	-6.3	-2.4	-28.9	57.0	-27.1	-26.9	-56.3	-39.7
Elongation, % change		-90.9	-96.4	-93.3	-93.3	-94.7					
Hardness, points chg.		-67.0	-68.0	-70.0	-71.0	-65.0					
Aged 21 days at 177 °C in test tubes											
Hardness, Shore A											
Tensile Strength, MPa	91	87	89	90	87	81	82	86	75	79	79
(psi)	1230	1135	1150	1210	1275	700	555	995	445	615	365
Elongation, %	7	35	60	30	50	60	15	65	50	50	25
Tensile, % change	-27.2	-16.5	-13.5	-23.9	-22.3	-53.9	-40.3	-35.8	-65.8	-56.7	-75.0
Elongation, % change	-94.6	-68.2	-78.6	-80.0	-66.7	-68.4	-97.0	-70.5	-80.8	-75.0	-88.1
Hardness, points chg.	19.0	20.0	21.0	20.0	16.0	16.0	20.0	21.0	13.0	16.0	17.0
Aged 3 days at 150 °C in IRM 901 Oil											
Then aged 21 days at 177 °C in test tubes											
Hardness, Shore A											
Tensile Strength, MPa	95	98	95	95	95	90	90	90	94	91	92
(psi)			12.0	12.0	13.8	9.0	9.4	7.5	7.0	5.3	6.1
Elongation, %			1740	1740	2000	1300	1360	1090	1020	770	890
			10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tensile, % change			30.8	9.4	22.0	-14.5	46.2	-29.7	-21.5	-45.8	-39.0
Elongation, % change			-96.4	-93.3	-93.3	-94.7	-98.0	-95.5	-96.2	-95.0	-95.2
Hardness, points chg.	23.0	31.0	27.0	25.0	24.0	25.0	28.0	25.0	32.0	28.0	30.0

Table IX
EAM 배합과 성질³

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
EAM	100.0	}	for all						
Processing Aid -3	0.5								
Stearic Acid	1.5								
N-762 Black	60.0								
HMDC	1.5								
DOTG	4.0								
Naugard [®] 445	---	2.0	---	---	---	---	---	---	4.0
Naugard [®] PANA	---	---	2.0	---	---	---	---	---	---
Aranox [®]	---	---	---	2.0	---	---	---	---	---
Naugard [®] 10	---	---	---	---	2.0	---	---	---	---
Durazone [®] 37	---	---	---	---	---	2.0	---	---	---
Naugalube [®] 635	---	---	---	---	---	---	2.0	---	---
Naugard [®] 495	---	---	---	---	---	---	---	2.0	---
Rheometer at 177 °C									
ML, dN-m	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.2	1.5	1.5
(in-lb)	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1	1.3	1.3
MH, dN-m	37.7	37.1	37.6	37.2	35.9	36.7	35.9	37.1	36.2
(in-lb)	33.4	32.8	33.3	32.9	31.8	32.5	31.8	32.8	32.1
ts2, minutes	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
t'c90, minutes	8.1	6.8	6.7	7.0	6.8	6.9	7.0	7.1	7.7
Physical Properties									
Cured 10 minutes at 177 °C									
Postcured 4 hours at 175 °C									
Hardness, Shore A	67	65	67	66	67	68	63	62	66
200% Modulus, MPa	14.8	13.7	12.6	13.2	13.5	15.2	13.9	13.3	12.1
(psi)	2140	1990	1830	1920	1960	2210	2020	1930	1760
Tensile Strength, MPa	18.1	17.9	17.5	18.2	18.1	19.0	18.5	17.4	17.2
(psi)	2630	2590	2540	2640	2620	2760	2690	2520	2500
Elongation, %	270	300	330	300	300	270	340	320	320
Aged 70 hours at 175 °C									
Compression set, %	11	12	14	14	11	11	11	12	19

Table X
EAM 배합의 공기 오븐 노화³

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
Naugard [®] 445	---	2.0	---	---	---	---	---	---	4.0
Naugard [®] PANA	---	---	2.0	---	---	---	---	---	---
Aranox [®]	---	---	---	2.0	---	---	---	---	---
Naugard [®] 10	---	---	---	---	2.0	---	---	---	---
Durazone [®] 37	---	---	---	---	---	2.0	---	---	---
Naugard [®] 635	---	---	---	---	---	---	2.0	---	---
Naugard [®] 495	---	---	---	---	---	---	---	2.0	---
Aged 3 days at 177 °C									
Hardness, Shore A	69	65	70	72	70	75	65	64	---
200% Modulus, MPa	17.2	14.0	15.3	15.5	18.0	---	17.6	16.9	---
(psi)	2490	2025	2225	2255	2605	---	2550	2450	---
Tensile Strength, MPa	13.8	16.5	15.1	17.2	19.4	16.4	19.1	18.9	---
(psi)	2000	2390	2195	2500	2810	2380	2765	2740	---
Elongation, %	165	245	200	225	220	160	220	225	---
Tensile, % change	-24	-8	-14	-5	7	-14	3	9	---
Elongation, % change	-39	-18	-39	-25	-27	-41	-35	-30	---
Hardness, points chg.	2	0	3	6	3	7	2	2	---
Aged 7 days at 177 °C									
Hardness, Shore A	71	71	69	75	73	75	73	71	69
100% Modulus, MPa	7.9	5.7	7.1	8.0	8.6	10.0	6.3	7.7	12.8
(psi)	1150	830	1030	1160	1250	1450	920	1110	1860
Tensile Strength, MPa	10.8	17.3	8.3	16.5	15.9	12.1	18.4	15.0	17.1
(psi)	1560	2510	1210	2390	2310	1750	2670	2180	2480
Elongation, %	120	260	120	180	160	110	210	160	290
Tensile, % change	-41	-3	-52	-9	-12	-37	-1	-13	-1
Elongation, % change	-56	-13	-64	-40	-47	-59	-38	-50	-9
Hardness, points chg.	4	6	2	9	6	7	10	9	3
Aged 21 days at 177 °C in Air Oven									
Hardness, Shore A	83	73	78	79	79	85	71	80	73
Tensile Strength, MPa	6.8	7.2	6.6	8.4	9.6	6.4	8.3	7.9	13.2
(psi)	990	1050	960	1220	1390	930	1200	1150	1920
Elongation, %	20	80	30	60	50	30	60	40	160
Tensile, % change	-62	-59	-62	-54	-47	-66	-55	-54	-24
Elongation, % change	-93	-73	-91	-80	-83	-89	-82	-88	-50
Hardness, points chg.	16	8	11	13	12	17	8	18	7

Table XI

공기오븐 노화 전 IRM 901오일 침적에서 추출된 EAM 컴파운드³

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
Naugard [®] 445	---	2.0	---	---	---	---	---	---
Naugard [®] PANA	---	---	2.0	---	---	---	---	---
Aranox [®]	---	---	---	2.0	---	---	---	---
Naugard [®] 10	---	---	---	---	2.0	---	---	---
Durazone [®] 37	---	---	---	---	---	2.0	---	---
Naugard [®] 635	---	---	---	---	---	---	2.0	---
Naugard [®] 495	---	---	---	---	---	---	---	2.0
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil								
Hardness, Shore A	61	59	56	61	62	65	58	61
200% Modulus, Mpa	10.8	10.5	10.2	10.1	9.3	12.4	10.5	9.3
(psi)	1570	1520	1480	1460	1350	1800	1530	1350
Tensile Strength, Mpa	16.4	16.2	15.9	15.8	16.4	16.7	15.7	14.9
(psi)	2380	2350	2301	2290	2380	2420	2280	2160
Elongation, %	310	320	340	320	340	280	320	330
Tensile, % change	-10	-9	-9	-13	-9	-12	-15	-14
Elongation, % change	15	7	3	7	13	4	-6	3
Hardness, points chg.	-6	-6	-11	-5	-5	-3	-5	-1
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil, Then 3 days at 177 °C in Air Oven								
Hardness, Shore A	63	64	60	64	66	71	59	62
200% Modulus, MPa	16.1	14.9			15.5		16.3	
(psi)	2340	2160			2250		2370	
Tensile Strength, MPa	17.0	18.5	16.5	16.8	16.5	12.1	18.9	16.8
(psi)	2470	2680	2400	2440	2400	1750	2740	2430
Elongation, %	210	260	180	190	220	130	220	190
Tensile, % change	-6	3	-6	-8	-8	-37	2	-4
Elongation, % change	-22	-13	-45	-37	-27	-52	-35	-41
Hardness, points chg.	-4	-1	-7	-2	-1	3	-4	0
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil, Then 7 days at 177 °C in Air Oven								
Hardness, Shore A	70	69	69	73	71	73	67	70
Tensile Strength, MPa	9.9	11.0	10.2	14.1	11.1	9.4	11.4	14.3
(psi)	1430	1600	1480	2050	1610	1360	1650	2080
Elongation, %	110	160	130	180	130	110	130	140
Tensile, % change	-46	-38	-42	-22	-39	-51	-39	-17
Elongation, % change	-59	-47	-61	-40	-57	-59	-62	-56
Hardness, points chg.	3	4	2	7	4	5	4	8
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil, Then 21 days at 177 °C in Air Oven								
Hardness, Shore A	84	81	82	82	78	80	80	82
Tensile Strength, MPa	5.6	5.7	6.2	8.4	7.4	6.9	6.6	7.0
(psi)	810	820	900	1220	1070	1000	950	1020
Elongation, %	20	30	30	60	40	30	30	20
Tensile, % change	-69	-68	-65	-54	-59	-64	-65	-60
Elongation, % change	-93	-90	-91	-80	-87	-89	-91	-94
Hardness, points chg.	17	16	15	16	11	12	17	20

Table XII
EAM 컴파운드의 Cell오븐 노화³

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
Naugard [®] 445	---	2.0	---	---	---	---	---	---
Naugard [®] PANA	---	---	2.0	---	---	---	---	---
Aranox [®]	---	---	---	2.0	---	---	---	---
Naugard [®] 10	---	---	---	---	2.0	---	---	---
Durazone [®] 37	---	---	---	---	---	2.0	---	---
Naugard [®] 635	---	---	---	---	---	---	2.0	---
Naugard [®] 495	---	---	---	---	---	---	---	2.0
Aged 21 days at 177 °C in Cell Oven								
Hardness, Shore A	80	69	75	85	79	76	78	79
Tensile Strength, MPa	5.4	11.0	9.3	9.9	9.2	7.7	10.1	11.9
(psi)	790	1590	1350	1440	1330	1110	1470	1720
Elongation, %	40	150	70	40	70	50	100	80
Tensile, % change	-70	-39	-47	-45	-49	-60	-45	-32
Elongation, % change	-85	-50	-79	-87	-77	-81	-71	-75
Hardness, points chg.	13	4	8	19	12	8	15	17
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil Then 21 days at 177 °C in Cell Oven								
Hardness, Shore A	62	68	75	77	75	76	66	76
Tensile Strength, MPa	5.7	5.5	6.0	6.7	5.5	6.1	5.7	6.2
(psi)	820	800	870	970	800	890	830	900
Elongation, %	30	60	50	30	40	40	50	40
Tensile, % change	-69	-69	-66	-63	-69	-68	-69	-64
Elongation, % change	-89	-80	-85	-90	-87	-85	-85	-88
Hardness, points chg.	-5	3	8	11	8	8	3	14
Aged 21 days at 177 °C in Air Oven								
Hardness, Shore A	83	73	78	79	79	85	71	80
Tensile Strength, MPa	6.8	7.2	6.6	8.4	9.6	6.4	8.3	7.9
(psi)	990	1050	960	1220	1390	930	1200	1150
Elongation, %	20	80	30	60	50	30	60	40
Tensile, % change	-62	-59	-62	-54	-47	-66	-55	-54
Elongation, % change	-93	-73	-91	-80	-83	-89	-82	-88
Hardness, points chg.	16	8	11	13	12	17	8	18
Aged 3 days at 150 °C in RIM 901 Oil, Then 21 days at 177 °C in Air Oven								
Hardness, Shore A	84	81	82	82	78	80	80	82
Tensile Strength, MPa	5.6	5.7	6.2	8.4	7.4	6.9	6.6	7.0
(psi)	810	820	900	1220	1070	1000	950	1020
Elongation, %	20	30	30	60	40	30	30	20
Tensile, % change	-69	-68	-65	-54	-59	-64	-65	-60
Elongation, % change	-93	-90	-91	-80	-87	-89	-91	-94
Hardness, points chg.	17	16	15	16	11	12	17	20

Table XIII
평가되고 언급된 물질

Abbr.	Composition	Trade Name
α MSDPA	α -Methylstyrenated Diphenylamine	Naugard ^a 445
ACM	Polyacrylic Elastomer	Hytemp ^b AR72LF
ADPA	Acetone-Diphenylamine Reaction Product	Aminox ^a
Bis Peroxide	α,α' -Bis(t-butylperoxy Diisopropyl) Benzene	VulCup ^d 40-KE
DTP	N-(Cyclohexylthio) Phthalimide	Santogard ^e PVI
DCP 40-KE	Dicumyl Peroxide	DiCup ^d
DPPD	N, N'-Diphenyl-p-Phenylenediamine	Naugard J
DTDM	4,4'-Dithio Dimorpholine	Naugex ^a SD-1
EAM	Ethylene-Acrylic Elastomer	Vamac ^c G
HMDC	Hexamethylene Diamine Carbonate	Diak ^f 1
HNBR	Hydrogenated Acrylonitrile-Butadiene Copolymer	Zetpol ^b 2010
MBM	m-Phenylene-bis(Maleimide)	HVA-2 ^f
MTI	2-Mercaptotoluimidazole	Vanox ^g MTI
N-10	Tetra(3,5-di-t-butyl-4-hydroxy Hydrocinnamate) Methane	Naugard 10
N-495	AO Blend of Radical Trap and Hydroperoxide Decomposer	Naugard 495
ODPA	Octylated Diphenylamine	Octamine ^a
PANA	N-Phenyl- α -Naphthylamine	Naugard PANA
	Processing Aid - 1	Struktol ^h WB-212
	Processing Aid - 2	Struktol ^h WB-222
SDPA	Processing Aid - 3	Armeen ⁱ 18D
	Styrenated Diphenylamine	Naugalube ^a 635
TAPTD	Sodium Ethylhexyl Sulfate (40% in water)	Niaproof ^j 08
	2,4,6-Tris-(N-1,4-dimethylpentyl-p-phenylenediamino)-1,3,5-triazine	Durazone ^a 37
TCY	1,3,5-Trithiocyanuric Acid	Zisnet ^b F-PT
Thioester	1,11-(3,6,9-trioxaundecyl)-bis-3-(dodecylthio) propionate	Wingstay ^k SN-1
TMQ	Polymerized 2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline	Naugard Q
TNPP	Tris(mixed mono- and di-nonylphenyl) Phosphite	Polygard ^a
TPPD	N-Phenyl-N'-(p-toluenesulfonyl)-p-phenylenediamine	Aranox ^a
ZMTI	Zinc 2-Mercaptotoluimidazole	Vanox ZMTI
ZDBC	Zinc Di-n-butyl Dithiocarbamate	Butazate ^a

^a = Registered trademark of Chemtura Corporation, Middlebury, CT

^b = Registered trademark of Zeon Chemicals L.P., Louisville, KY

^c = Registered trademark of E. I. DuPont de Nemours, Wilmington, DE

^d = Registered trademark of Geo Specialty Chemicals, Wilmington, DE

^e = Registered trademark of Flexsys America L.P., Akron, OH

^f = Registered trademark of DuPont Dow Elastomers, L.L.C., Wilmington, DE

^g = Registered trademark of R. T. Vanderbilt Company, Inc., Norwalk, CT

^h = Registered trademark of Struktol Co. of America, Stow, OH

ⁱ = Registered trademark of Akzo Corporation, Chicago, IL

^j = Registered trademark of Niacet Corporation, Niagara Falls, NY

^k = Registered trademark of Eliokem, Akron, OH