

## 무연 라이너 조성 및 연기 특성 연구

유지창<sup>\*</sup> · 류문삼<sup>\*</sup> · 백국현<sup>\*</sup> · 류백능<sup>\*</sup>

### A study of the smokeless liner formulation and smoke characteristics

J.C. Yoo · M.S. Ryu · G.H. Baek · B.N. Ryu

#### ABSTRACT

The smokeless liner, was required to propulsion system of gas generator, was developed by applying oxamide as a filler and HTPB system as a binder. Relative quantities of smoke produced during burning of liner by propellant combustion was measured by using smoke chamber. The smoke of the smokeless liner containing 50% of oxamide as filler was reduced to 1/10 as compared with conventional liner containing silica as filler. This result was showed by ground test of gas generator.

#### 초 록

가스 발생기 추진기관 시스템에서는 연소 시 굵은 입자가 토출되면 치명적인 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 추진제에 발생하는 연소가스 입자와 더불어 라이너에서 발생하는 연소가스 입자를 최소화 하는 방안이 필요하다. 이러한 라이너 조성을 개발하기 위하여 충전제로 옥사마이드(Oxamide)를 사용하고, HTPB계 바인더를 사용한 무연 라이너 조성을 개발하였다.

라이너의 연기특성을 정량적으로 측정하기 위하여 자체 제작한 연기측정장치(Smoke Chamber)를 사용하였다. 충전제로 옥사마이드를 50%적용하였을 때가 실리카(Silica)를 50%적용 시에 비하여 연기 정도가 1/10정도로 감소하였으며 그 결과는 가스 발생기 추진기관의 연소 시험 시에도 확실하게 관찰되었다.

#### 1. 서 론

고체 추진기관의 라이너는 연소관과 추진제 사이에 존재하여 이상 연소가 일어나지 않고 외부 충격이나 온도 변화에 추진제가 견딜 수 있도록 하며, 추진제 연소 시 연소열로부터 연소관을 보호하는 역할을 한다. 일반적으로 대부분

의 라이너는 추진제의 연소 시에 연기를 발생하게 된다. 이러한 연기는 추진제의 연소 열에 의하여 라이너의 바인더가 열 분해되어 불완전 연소된 탄소 입자이며, 전술유도무기와 가스발생기에서는 추진제의 연기와 더불어 치명적인 단점이 될 수 있다[1,2]. 그러므로 라이너의 조성 개발 방향은 추진기관 연소 시 연기를 생성하지

2001년 11월 14일 접수 ~ 2002년 5월 15일 심사완료

<sup>\*</sup> 정희원, 국방과학연구소(Agency for Defence Development)

주연락저자 E-mail=yoojic@dreamx.net 대전시 유성우체국 사서함 35-5 기술-4-6

않으면서 추진제와 접착력이 우수하고, 공정성이 우수한 라이너의 개발이다.

본 연구에서는 고 에너지 가소제(TMETN (Trimethylol Ethane Trinitrate), BTTN(1,2,4-Butane Triol Trinitrate))의 저분자 이동(Migration)을 방지하고, 추진제와의 접착력을 우수하게 하기 위하여 HTPB(Hydroxy Terminated Polybutadiene) 바인더를 사용하였고 충전제로 산소나 질소를 비교적 많이 포함하고 있으면서 안전성이 높은 저온 연소 산화제인 옥사마이드(Oxamide)를 사용한 무연 라이너의 조성을 개발하였고, 라이너의 연기특성을 정량적으로 측정하기 위하여 연기측정장치를 사용하여 표준 시편을 제조하여 연소시의 연기 정도를 측정하였다.

가스발생기와 같이 로켓모터에서 추력이 아닌 기체압 형태의 에너지를 일정한 시간동안 얻고자 하는 경우, 로켓모터의 크기 및 추진제 충전율을 고려하여 그레이н 형태를 단면 연소형으로 선택할 수 있다. 단면 연소형 그레이н을 가진 로켓모터는 그레이н의 연소 시, 일찍 연소된 부분의 라이너가 추진제 연소 화염에 노출되면서 표면부터 서서히 분해가 진행되며, 분해물질의 일부는 추진제에 포함된 산화제 성분에 의해 산화되어 기체화 될 수 있다[3,4]. 산화제 성분이 충분치 않은 경우에는 고체 입자 형태로 추진제 연소 기체와 함께 배출되며, 이는 일차 연기의 일종으로 볼 수 있다. 가스발생기에서 얻고자 하는 기체는 고체 입자가 포함되지 않은 깨끗한 기체형태인 경우가 대부분이며, 따라서 무연 라이너 및 내열재의 연구가 필요하다. 본 연구에서는 가스발생기에 효과적으로 적용할 수 있는 무연 라이너의 조성을 연구하기 위하여 HTPB계 라이너에 옥사마이드를 적용하여 연기특성을 개선하고자 시도하였다. 옥사마이드의 함량을 질량 분율로 30%에서 60%까지 변화시켜가며 적용하여 기계적 특성과 연기측정장치를 이용하여 라이너의 연소에 의한 연기의 생성도를 정량적으로 측정하였다.

본 라이너가 적용될 가스발생기 추진제의 바인더가 기존의 HTPB계 추진제의 바인더와는 달

리 PCP(Polycaprolactone)/IPDI(Isoporone Diisocyanate)/BTTN, TMETN계이며, 가소제(BTTN, TMETN)/폴리머(PCP) 비가 1.20정도로 많은 양의 가소제가 적용된 추진제 조성이다. 따라서 본 라이너의 바인더 선정에 있어서 가장 중점을 두어야 할 점은 고 에너지 가소제의 저분자 이동 방지 문제이다. 고 에너지 가소제의 이동을 방지할 수 있는 라이너의 조성상의 방법에는 바인더로 고 에너지 가소제와 친화력이 없는 비극성을 적용하는 방법과 고 에너지 가소제와 친화력이 큰 바인더를 선택하고 고 에너지 가소제를 추진제 바인더에서의 고 에너지 가소제 함량과 동일 함량을 라이너에 적용하는 방법이 있다. 그러나 후자의 방법은 고 에너지 가소제가 매우 위험한 물질이므로(Class 1), 라이너 제조 공정 및 라이닝 공정상 현실적으로 가능한 방법이 아니므로 전자의 비극성 바인더를 선택하는 것이 유일한 방법이다. 라이너의 경화 촉매로는 일반적으로 FeAA(Ferric Acetylacetonate), T-12, TPB(Triphenyl Bismuth)/DNSA(Dinitro Salicylic Acid) 등이 사용되고 있으며 라이닝 적용 공정에 따라서 3 종류 중 1 종류를 선정하여 사용하고 있다. 지금까지 적용된 추진기관의 라이너에서는 라이닝 시간을 단축하기 위하여 FeAA를 주로 사용하고 있었으나, 최근 추진제/라이너 접착력에 있어서 TPB/DNSA가 FeAA에 비하여 우수한 결과가 도출되었으므로 현재 새로운 추진기관에 있어서는 TPB/DNSA를 주로 적용하고 있다. 무연 라이너의 충전제로는 일반적으로 산소나 질소를 다량 포함하고 있는 고체화합물로서 안전성이 있어서 라이너 혼합 시에 위험성이 없어야 한다. 이러한 화합물로는 매우 많은 물질이 소개되어 있으나 대표적이며 적용된 사례가 있는 것이 옥사마이드 및 니트로구아니딘(Nitroguanidine)으로서 본 조성 연구에서도 가스발생기추진제에서 추진제의 연소 속도 조절용으로 사용하고있는 옥사마이드를 적용하기로 하였다[2,3,5]. 일반적으로 라이너에 가소제를 가해주는 이유는 추진제의 가소제가 라이너로 이동되어서 라이너/추진제 경계면의 추진제 및 라이너

의 기계적 특성을 변화시키고 또한 접착력에도 영향을 미치므로 라이너에 추진제와 동일한 가소제를 유사한 함량 포함시켜서 가소제의 이동을 방지하고 라이너의 점도를 낮게 함으로써 공정성을 우수하게 하는 역할을 한다.

가스발생기 추진제는 가소제로 BTNN 및 TMTN과 같은 고 에너지 가소제를 14.5% 가량 포함하고 있으므로 추진제의 가소제 이동을 방지하기 위하여 라이너에 BTNN 및 TMTN을 다량 함유하게 하여야 하는 것은 혼합 공정에도 문제가 될 뿐만 아니라 라이너의 기계적 특성에도 문제가 되며, 추진제/라이너 접착력을 나쁘게 할 수 있다. 그리고 본 라이너 조성에서는 추진제의 바인더와는 극성이 반대되는 HTPB계 바인더를 사용하므로 고 에너지 가소제의 이동 문제는 고려할 필요가 없다. 라이너에 있어서 요구되는 점도는 라이닝 시의 공정에 따라 다르며, 선진국에 있어서 일반적인 방법인 스프레이(Spray)공정에 있어서는 점도가 1,000 poise 정도도 라이닝 공정에 문제가 없으나 현재 우리가 주로 사용하고있는 원심 주조법으로는 라이너의 점도가 적어도 25℃에서 300 poise 이하가 되어야 1 mm 정도의 얇은 두께로도 라이닝 할 수 있다. 현재 무연 라이너 조성에서 충전제인 옥사마이드를 50%로 하고 가소제인 DOA(Dioctyl Adipate)를 10%로 하였을 때 예혼합의 점도가 294 poise로 매우 높고 흐름성이 거의 없다. 이렇게 점도가 높은 것은 옥사마이드의 형상이 제조 공법상 합성 후 분쇄하여 입도를 조정된 것이어서 무정형이기 때문이다. 가소제와 옥사마이드의 함량을 변화시키지 않고 점도를 낮출 수 있는 방법은 옥사마이드와 바인더 사이의 접촉을 좋게 하는 방법이 있다. 접촉을 좋게 하는 방법으로는 바인더가 비극성이므로 수분이 옥사마이드 표면에 존재하면 옥사마이드와 바인더 사이의 접촉을 방해하므로 수분이 없어야 한다. 수분을 없애는 방법으로는 가열하여 제거하는 방법이 있으나 시간이 매우 많이 소요되어서 곤란하고 실란과 같은 결합제(Coupling Agent)를 사용하는 방법이 있다. 실란 종류로는 폴리우

레탄(Polyurethane)의 충전제와 결합제로 가장 널리 사용되는 실란 A1120을 적용하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 시편 제작

본 연구에 사용된 원료는 구입한 원료를 정제 없이 그대로 사용하였으며, 옥사마이드는 Aldrich 및 SG 정밀사 제품을, 실란 A1120은 Aldrich사 제품을 사용하였다. HTPB에 DOA를 가하여 3분 간 혼합한 후, AO2246을 가한 후 1분, 충전제를 3회에 걸쳐서 나누어 가하면서 20분간 충분히 혼합하였다. 제조된 예혼합은 상온에서 데시케이터내에 보관하였으며, 혼합은 소형 Cowles Dissolver를 사용하였다. 예혼합의 밀도는 ADP-STD-1008규격에 의하여 측정하였다.

라이너의 시편 제조는 먼저 20℃정도로 조절된 예혼합 라이너에 경화제인 디아이소시아네이트(Diisocyanate)와 경화 촉매를 가하고 충분히 혼합한 후, 진공 오븐에서 기포를 제거하고 시편 제조용 금형에 주조하고, 60℃에서 2일간 경화시켰다. 제조된 라이너 판에 추진제를 주조하여 추진제 경화 오븐에서 7일간 경화시켰다. 제조된 라이너의 기계적 특성 시험은 KSM 6518 규격에 따랐으며, 라이너/추진제 접착력 시험은 ADP-STD-2005, 2006 및 2007의 규격에 따라 시험하였다. 예혼합의 점도 및 라이너의 점도는 부록필드(Brookfield) 점도계를 사용하여 ADP-STD-1035규격에 따라 시험하였다.

### 2.2 시험 장치

연기측정장치는 추진제 연소기체에 의하여 연기가 형성되는 정도를 빛의 투과율을 이용하여 측정하는 장비이다. 로켓모터 배출기체에 의하여 연기가 형성될 때, 연기의 생성도, 특히 이차 연기가 기후 조건에 의존하므로 온도와 습도조건을 제어할 수 있는 연기실 내에서 추진제를 연소시킨 후, 생성된 연기와 공기의 혼합기체에 빛을 통과시켜 감쇠되는 빛의 투과율을 측정함

으로써, 고체 추진제 연소 기체에 의한 연기 생성도를 정량적으로 측정하도록 설계되었다. Fig. 1은 연기 측정 장치의 개념도를 나타낸다. 연기 측정 장치는 크게 연기측정장치 본체, 광원부, 그리고 측정부의 세 부분으로 구성된다.

본체는 추진제 시편의 연소와 연기가 생성되는 연기실과 연소실의 온도와 습도를 조절하기 위한 온·습도 제어기, 그리고 시편을 연소시키기 위한 시편홀더와 점화부, 연기실 내의 균일한 온·습도 조건 및 연기 형성시의 균일한 연기 농도의 유지를 위해 연기실의 천정 중앙부에 설치되어 있는 혼합기로 구성되어 있다. 연기실의 부피는 1m<sup>3</sup>이며, 상압하에서 운영된다. 연기실의 온도는 가열기 및 2단 냉동기를 사용하여 -40℃에서 65℃사이로 조절 가능하며, 가습/제습장치를 이용하여 상대습도 20%에서 90%범위로 설정 및 제어가 가능하다. 전자식 온·습도계가 설치되어 온·습도 제어 및 연기실 내의 온·습도 기록에 활용되며, 온·습도를 설정하기 위한 제어기와 기타의 장비 제어용 스위치 및 다이얼 등이 본체 외부 벽면의 제어판에 설치되어 있다. 추진제 시편은 니크롬선을 이용하여 전기적

으로 점화하며, 시편 홀더는 연소 기체의 조성에 영향을 주지 않도록 내식·내산화성의 스테인레스 스틸을 사용하여 제작하였고, 점화용 니크롬선을 연결하기 위한 전원 단자가 설치되어 있다. 연소실 내부는 불필요한 반사를 억제하기 위하여 흑색 무 반사 도장을 하였으며, 벽면의 빛이 투과하기 위한 창에는 시험도중 생성 가능한 응축물을 제거하기 위하여 김 서림 제거용 가열기를 설치하였다. 광원으로는 1 kW용량의 제논 아크 램프(Xenon Arc Lamp, Oriel 6271)를 사용하였다. 광원으로부터 복사된 빛은 collimator를 통하여 평행광으로 정렬된 후, 수냉식 광대역 필터를 통과하며 가시광선 영역으로 분리되어 연기실로 입사된다. 연기실로 입사된 빛은 연기 입자들에 의해 산란, 흡수되면서 감쇠된다. 연기실을 통과한 빛은 분광기(Oriel MS257)에 의해 400nm부터 700nm까지 50nm 간격으로 단색광으로 분해된 후 실리콘 포토다이오드 검출기(Oriel 70331)에 의해 전기 신호로 변환된다. 전기 신호로 변환된 빛의 세기는 아날로그/디지털 변환기(A/D convertor)를 거친 후 데이터 저장 시스템(Oriel MERLIN)을 통하여

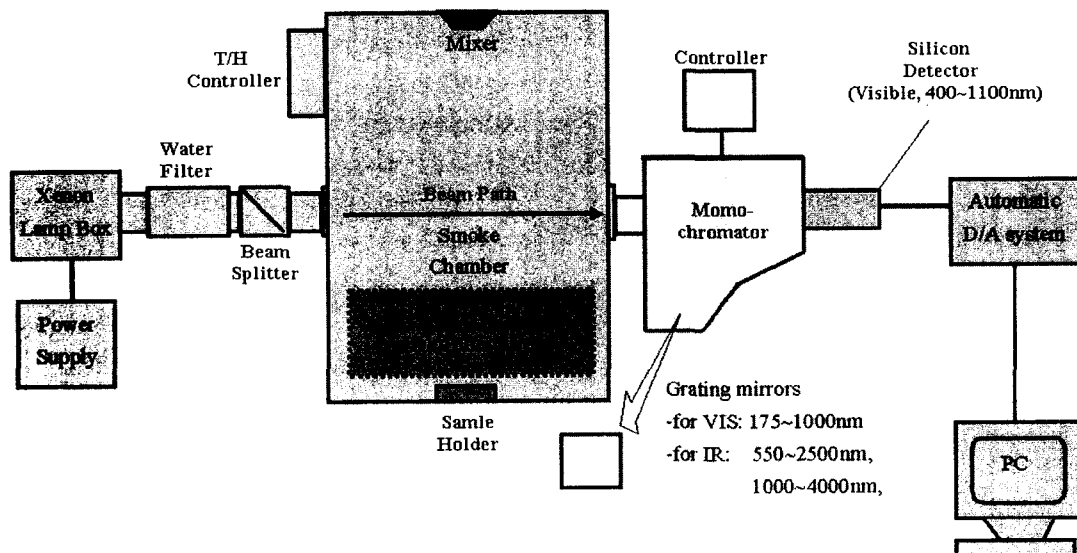


Fig. 1 Schematic Diagram of Smoke Chamber System

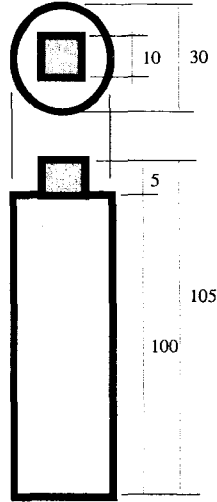


Fig. 2 Test Sample Configuration

PC에 저장되고 분석된다. 분광기 및 데이터 저장 시스템의 동작은 PC에서 실행되는 S/W에 의하여 제어한다.

2.3 시험 방법

시편 칫수와 형상은 Fig. 2와 같으며 가로, 세로 각각 10 mm이고 길이가 100 mm인 막대 형태(단면 정사각형)의 추진제에 라이너를 두겹게 도포하여 경화시킨 형태의 시편을 사용하였다. 정상상태 연소를 위해 추진제시편을 라이너 위에 약 20 mm 정도 노출시켰다. 예비시험 수행시에 추진제 불꽃이 접촉하는 내부 라이너면 외에 외부면으로 불꽃이 확산되어 공기 중 산소에 의해 라이너 연소되었으며, 이로 인하여 라이너 내면에서 생성되는 연기 외에 추가적인 연기가 다량 발생하였다. 이와 같이 라이너가 대기중의 산소와 반응하여 추진제와 접촉하지 않는 외부 라이너가 연소되는 것을 차단하기 위해 라이너 위에 점토를 도포하였다. Fig. 3은 시편이 장착된 시편 홀더와 연기실 내부의 모습을 나타낸 것이다. 시험 추진제는 추진제에서 생성되는 연기를 최소로 하고 고온의 연소불꽃이 접한 라이너면을 열분해 및 연소시키기 위하여 무연추진

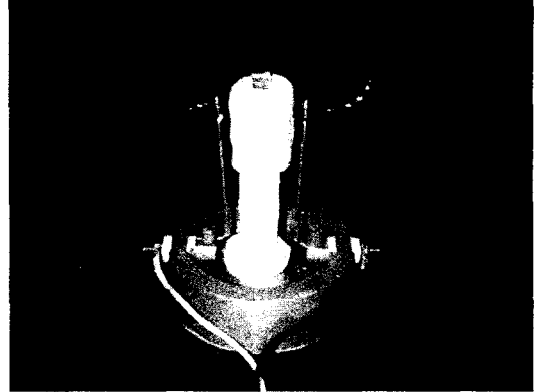


Fig. 3 Sample Holder Fitted with Test Sample

제를 사용하였다. 실제 모터에서 사용하는 가스 발생기 추진제는 측정장비의 가동 압력인 대기압에서 연소속도가 매우 느리며, 연소가 불안정하여서 시험 추진제로 사용할 수가 없었다. 추진제의 연소에 의한 2차 연기의 생성을 억제하기 위하여 연기실 내의 공기의 온도와 상대습도를 각각 25℃, 40% RH로 건조하게 제어하였으며, 실험압력은 장비 특성상 대기압에서 수행하였고 사용된 광의 파장은 가시광 영역이다.

3. 결과 및 고찰

무연 라이너의 바인더로는 연기생성 면에 있어서 극성 바인더에 비하여 불리한 면이 있지만 비극성이며 라이너에 가장 널리 사용되고 있다. 또한 PCP계 추진제용 라이너에 사용된다고 보고된 바가 있는 HTPB를 기본 폴리머로 하고 경화제로서 라이너에 일반적으로 사용되고 있는 DDI(Dimeryl Diisocyanate)를 선정하기로 하였으며, 라이닝 공정을 원활하게 하기 위한 가소제로는 DOA를 선정하였고, 노화 방지제로 AO2246(2-2-Methylene), Bis(4-Methyl-6-Butyl Phenol)을 적용하였다.

Table 1에 경화 촉매에 따른 추진제/라이너의 접착력을 나타내었으며, 경화 촉매로 TPB/DNSA 및 FeAA를 사용한 경우 모두 박리

접착 값이 1.1~1.2 daN/cm로 차이가 거의 없으므로 라이너의 경화 촉매로는 두 가지 모두 사용이 가능하나, 사용 추세로 보아 TPB/DNSA를 라이너의 경화 촉매로 선정하였다.

Table 1 Propellant/Liner Bonding Force according to Cure Catalyst

Liner	Cure Catalyst	Propellant	Bond Peel, daN/cm
R-LH10-0001-1	FeAA	R-00160-401	1.2
R-LH10-0001-3	TPB/DNSA	R-00160-401	1.1

\*Formulation Base: HTPB/DDI/DOA(10%)/Oxamide(50%)

Table 2에 옥사마이드 함량 변화에 따른 라이너의 기계적 특성을 나타내었다. Table 2에서 보는 것과 같이 충전제인 옥사마이드 함량이 40%에서부터 60%로 증가할수록 인장강도 및 경도는 증가하였고, 신율은 감소하는 현상을 나타내었으며, 60%가 넘으면 점도가 매우 높아서 라이너 혼합이 불가하였다. 연기 생성 정도에 큰 변화가 없다면 기계적 특성으로 보아 충전제인 옥사마이드의 함량이 50%가 적합한 것으로 판단된다.

Fig. 4에 충전제 함량 변화에 따른 라이너의 점도를 나타내었다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 충전제인 옥사마이드의 함량이 40%에서부터 60%까지 증가함에 따라 라이너의 점도는 25°C에서 168 poise에서 445 poise로 점도가 급격하게 증가하는 현상을 나타내었다. 그리고 Fig. 5에 충전제 함량 변화에 따른 연기 생성 정도를 나타내었다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 충전제인 옥사마이드의 함량이 30%에서부터 50%까지 증가함에 따라 상대적인 연기 생성이 급격하게 감소하는 현상을 나타내었으며, 50%를 지나서 60%까지는 완만한 감소를 나타내고있다. 옥사마이드의 함량이 30%일 때를 2로 하였을 때 옥사마이드의 함량이 50%일 때는 0.03정도로서 매우 낮으므로 공정성을 생각한 라이너의 점도 및 기계적 특성을 생각하여 라이너의 충전제로 옥사마이드를 50%로 결정하였다.

본 조성 연구에서는 라이너의 무연화를 위하여 사용하는 옥사마이드의 형상이 구형이 아니고 제조 공정이 옥사마이드를 합성한 후 분쇄 공정을 거쳐서 제조한 것이어서 매우 불규칙한 형상을 가져서 일반적인 라이너의 충전제인 실리카에 비하여 동일 함량을 적용하였을 때 라이너의 점도가 매우 높다. 따라서 이러한 점도를 낮추기 위하여 본 조성 연구에서는 가소제를 사용할 필요가 있다. 적용할 가소제로는 라이너에 일반적으로 사용되고있는 DOA를 사용하기로 하였으며 그 함량은 라이너의 점도 및 기계적 특성을 고려하여 결정하기로 하였다.

Table 2 Mechanical Properties of LH-10 Liner according to Oxamide Contents

Batch No.	Oxamide Contents, %	Viscosity @25°C, Poise	Mechanical Properties			
			$\sigma_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_r$ , %	$M_{100}$ , kg/cm <sup>2</sup>	Hd
R-LH10-9919	40	168	10.1	437	5.9	27
R-LH10-9921	45	218	13.6	291	7.8	35
R-LH10-9908-1	50	270	13.8	148	11.4	45
R-LH10-9913-4	60	445	15.2	130	13.7	50

\*Formulation Base:

HTPB/DDI/DOA(10%)/Oxamide/SilaneA1120(0.2%)

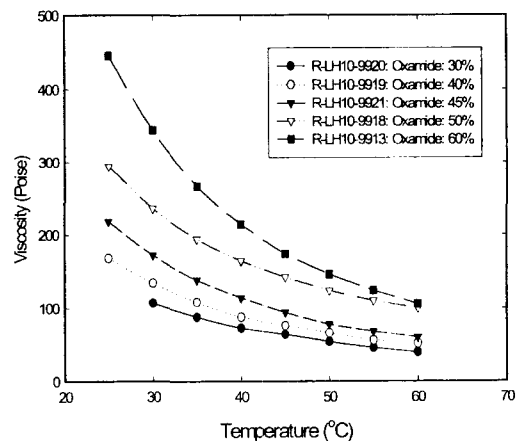


Fig. 4 Viscosity of LH-10 Liner according to Oxamide Contents

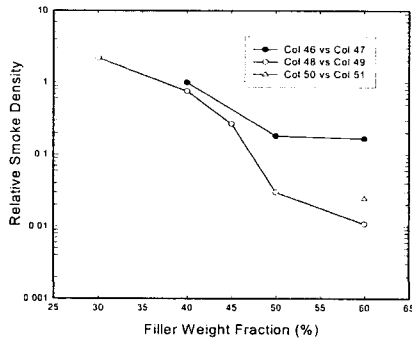


Fig 5. Relative Smoke Density of Oxamide Contents

Table 3에 가소제 함량 변화에 따른 라이너의 기계적 특성을 나타내었다. Table 3에서 보는 것과 같이 가소제인 DOA의 함량이 5%에서 30%로 증가함에 따라 인장강도 및 모듈러스는 감소하였고 신율은 감소하는 현상을 나타내었으며 20%이상에서는 인장강도가 10 kg/cm<sup>2</sup> 이하로서 인장 강도가 낮아서 적용에 문제가 있을 것으로 판단되었다.

Fig. 6에 가소제 함량 변화에 따른 라이너의 예혼합의 점도 변화를 나타내었다. Fig. 6에서와 같이 DOA의 함량이 0%에서 30%로 증가함에 따라 라이너의 예혼합 점도는 1,400 poise에서 42 poise로 급격하게 감소하였다. 가소제 함량을 20%로 하면 점도는 107 Poise로 낮으나 기계적 특성에 문제가 있으므로 가소제 함량을 기계적 특성에 우선을 두고 10%로 결정하였다.

Table 4에 실란 A1120 함량 변화에 따른 라이너의 예혼합 점도 변화를 나타내었다. Table 4에서 보는 것과 같이 실란 A1120을 사용하지 않았을 때 점도가 939 poise에서 실란 A1120을 0.1% 사용하였을 때는 277 poise로 점도가 매우 낮아졌으며 실란 A1120함량을 0.5%까지 증가하였을 때는 약간씩 증가하여 0.5%사용하였을 때가 311 poise였다. 또한 라이너의 기계적 특성도 실란 A1120 함량을 증가할수록 인장강도, 모듈러스 및 경도는 증가하였고 신율은 약간 감소하

Table 3 Mechanical Properties of LH-10 Liner according to plasticizer Contents

Batch No.	DOA, %	Mechanical Properties			
		$\sigma_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_r$ , %	$M_{100}$ , kg/cm <sup>2</sup>	Hd
R-LH10-9810	5.0	12.5	71	3.4	60
R-LH10-9808	10.0	11.6	91	9.2	52
R-LH10-9811	20.0	8.2	109	8.1	41
R-LH10-9812	30.0	3.3	144	2.8	14

\*a: Formulation Base: HTPB/DDI/DOA/Oxamide(60%)

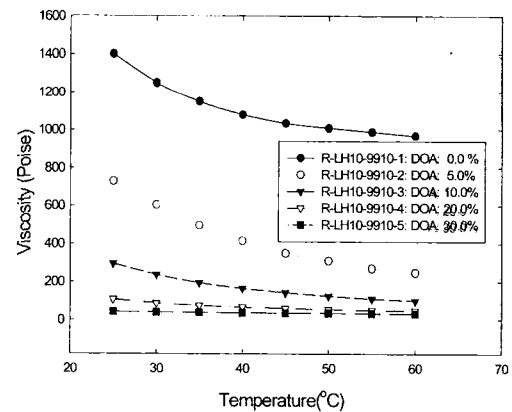


Fig 6. Viscosity Variation of LH-10 Liner according to Plasticizer Contents

는 현상을 나타내었다. 이와 같이 실란 A1120 함량을 증가할수록 인장 강도가 증가하는 현상은 실란 A1120이 바인더와 옥사마이드의 접촉도 잘 시켜줄 뿐만 아니라 실란 A1120에 포함되어 있는 아민(Amine) 관능기가 바인더의 아이소시아네이트(Isocyanate)와의 반응을 통하여 바인더와 옥사마이드와의 접착 강도를 크게 하였기 때문으로 생각된다. 따라서 예혼합의 점도와 라이너의 기계적 특성을 고려하여 결합제인 실란 A1120함량을 0.2%로 결정하였다.

Table 4 Viscosity and Mechanical Properties according to Silane A1120

Batch No.	Silane A1120, wt. %	Viscosity @25°C, Poise	Mechanical Properties			
			$\sigma_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_r$ , %	M <sub>100</sub> , kg/cm <sup>2</sup>	Hd
R-LH10-9913-1	0.0	939	8.1	103	8.0	37
R-LH10-9913-2	0.1	277	10.5	158	9.1	40
R-LH10-9913-3	0.2	270	13.3	119	12.8	50
R-LH10-9913-4	0.3	297	15.2	130	13.7	50
R-LH10-9913-5	0.5	311	15.2	120	13.4	48

\*a: Formulation Base:  
HTPB/DDI/DOA(10%)/Oxamide(50%)

일반적으로 라이너 제조 시 라이너의 NCO/OH 당량비는 1.0~1.5 정도로 하는 것이 보통이며 1.0보다 적거나 1.5보다 크면 라이너의 경도가 10 이하로 너무 적어서 라이너의 역할을 수행하기에 문제가 있고, 또한 NCO/OH 당량비를 1.0이상으로 하는 이유는 일반적으로 추진기관에는 연소관과 라이너 사이에 인슐레이션이 있게 되는데, 라이닝을 하게 되면 미 경화 라이너에서 인슐레이션으로 라이너의 경화제가 이동되고 라이너나 인슐레이션 표면의 수분과도 소량 반응하기 때문에 당량비를 1.0 근처로 하게 되면 당량비가 결국 1.0 이하가 되어서 라이너의 경화가 잘 되지 않을 수가 있다.

Table 5에 충전제로 옥사미이드 50 및 60%를 적용하였을 EO의 NCO/OH 당량비 변화에 따른 라이너의 기계적 특성을 나타내었다. Table 5에서와 같이 NCO/OH 당량비가 1.0에서부터 1.5로 증가함에 따라 인장강도와 모듈러스 및 경도는 증가하고 신율은 감소하는 경향을 보이고 있다.

라이너의 기계적 특성 목표치가 인장강도가 10 bar 이상이므로 NCO/OH 당량비는 1.1이상으로 하면 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서 라이너의 NCO/OH 당량비는 1.1~1.5로 하고 라

이너 원료인 HTPB 및 DDI 변화나 공정 등에 따라 변화시킬 수 있도록 하였다.

Table 5 LH+10 Liner and Mechanical Properties according to NCO/OH Ratio

Batch No.	NCO/OH	Mechanical Properties			
		$\sigma_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_r$ , %	M <sub>100</sub> , kg/cm <sup>2</sup>	Hd
R-LH10-9904-1	1.0	8.9	211	5.6	25
R-LH10-9904-2	1.1	10.9	159	9.9	42
R-LH10-9904-3	1.2	11.1	146	10.4	46
R-LH10-9904-4	1.3	11.6	117	11.4	49
R-LH10-0001-1	1.0	8.9	346	3.4	10
R-LH10-0001-2	1.1	13.1	284	7.0	32
R-LH10-0001-3	1.2	15.1	286	10.0	43
R-LH10-0001-4	1.3	15.5	271	10.1	41
R-LH10-0001-5	1.5	14.7	228	11.2	45

#### 4. 결론

충전제로 산소나 질소를 비교적 많이 포함하고 있으면서 안전성이 높은 저온연소 산화제인 옥사미이드를 사용한 무연 라이너의 조성을 연구하고, 연기측정장치에 의한 라이너의 연기특성을 정량적으로 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 옥사미이드 함량이 40%에서부터 60%로 증가할수록 인장 강도 및 경도는 증가하였고, 신율은 감소하는 현상을 나타내었다. 연기 생성 정도에 큰 변화가 없다면 기계적 특성으로 보아 충전제인 옥사미이드의 함량이 50%가 적합한 것으로 판단된다.



2. 가스발생기 추진기관 연소 시 연기발생의 상대적인 비교를 하기 위하여 표준 시편을 제조하여 연기측정장치에 의하여 라이너 연소 시 연기 정도를 측정하였으며, 그 결과 충전제로 옥사마이드를 함량이 50% 이상에서는 실리카를 적용하였을 때보다 연기정도가 1/10이상 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 옥사미이드가 실리카보다 연기생성도면에서 현저히 우수한 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. A. Davenas, Solid Rocket Propulsion Technology, Pergamon Press, Chap. 13, 1993.
2. M. Pierce et al, U.S. Pat. 4,209,351, Jun. 24, 1980.
3. Dale E. Hutchens et al, U.S. Pat. 6,051,087, Apr. 18, 2000.
4. M. Probster, Propellant, Explosive, Pyrotechnics, 12, 141, 1987.
5. M. Probster, Propellant, Explosive, Pyrotechnics, 13, 157, 1988.
6. C. I. Evans, "Minimum Smoke Solid Propellant Motors," AIAA-72-1192, 1972.
7. B. Gonthier, Minimum Smoke Rocket Motors with Silicone Inhibitor, AIAA-84-1418, 1984.