

항력감소제용 연소방지제의 경화제변경을 위한 조성 및 공정연구

김재우* · 이덕범* · 박종완*

Research on the formulation and process of base bleed unit inhibitor for changing cure agent

Jaewoo Kim* · Dugbum Lee* · Jongwan Park*

ABSTRACT

BBU attached to the 155mm is the weapon system for the extension of range through the reduction of base drag. This research focus on the development of inhibitor formulation changing cure agent from DDI to IPDI. Development process is as follows. First, the formulation test about basic property Second, the study on the application of process. Third, the tests for the quality and aging properties. The test results are satisfied with the all of the requirments. In results, this research is contributed to the stable manufacturing in the instability of supplying of cure agent.

초 록

항력감소제(BBU, Base Bleed Unit)는 155mm 탄에 부착되어 비행 중에 형성되는 탄저부 항력(base drag)을 감소시켜 사거리를 연장시키는 무기 체계이다. 본 연구는 항력감소제용 연소방지제의 경화제를 DDI에서 IPDI로의 변경하는 조성을 개발하는데 주안점을 두었으며, 개발 과정은 연소방지제의 조성시험을 통한 기본적인 특성 확인을 거친 후 공정성 연구와 품질 및 노화특성을 확인하는 순서로 진행하였다. 시험결과 모든 시험 항목들이 요구된 조건들을 만족하여 경화제 수급 불안정에 대한 생산 안정성 확보에 기여되었다.

Key Words: Base drag(탄저부 항력), Inhibitor(연소방지제), Cure agent(경화제), Formulation test (조성시험), Quality and aging properties(품질 및 노화특성)

1. 서 론

항력감소제(BBU, Base Bleed Unit)는 탄저부에

서 연소하여 탄의 비행 시 발생하는 탄저부 항력(base drag force)을 감소시킴으로써 사거리를 증대시키는 역할을 하며, 연소방지제는 BBU 추진제 그레인 표면에 도포되어 추진제 연소 시 금속 조립체 사이로 화염이 들어가서 측면에서 연소되는 현상을 방지하는 역할을 한다[1-3].

* (주)한화 대전사업장

† 교신저자, E-mail: jude50@hanwha.co.kr

BBU용 연소방지제의 경화제는 DDI(dimeryl diisocyanate)가 사용되어져 왔으나 최근 제조사의 수급 불안정에 의한 생산차질이 우려되었으며, 국산화 또한 개발기간이 상당기간 소요될 것으로 판단되었다.

따라서 DDI의 대체 경화제를 검토하게 되었으며 수급이 원활하고 폴리우레탄 반응에 많이 사용되는 IPDI(isophorone diisocyanate)가 대체 물질로 판단되어 이를 적용한 BBU용 신규 연소방지제 조성개발을 수행하였고, 개발과정은 크게 경화제 특성검토, 조성연구, 공정성, 품질특성 및 노화 특성시험 순으로 진행되었다.

2. 경화제 특성 검토

폴리우레탄을 채택하고 있는 BBU 연소방지제의 바인더는 polydiol의 prepolymer와 경화제인 diisocyanate로부터 만들어지고 이들의 성질에 따라서 그 특성이 달라진다고 볼 수 있다.

고분자 prepolymer의 유연성은 유리전이온도 (Tg)와 고분자 사슬의 길이 즉, 중합도 또는 분자량에 따라 차이가 나게되며, BBU 연소방지제에 사용된 prepolymer는 유연한 분자구조를 가지고 있는 반면에 경화제로 사용된 DDI는 상대적으로 경직된 구조를 가지고 있는데 이런 경직성은 분자구조내의 hard segment의 종류와 분자량의 변화에 따라서 영향을 받게 된다. 즉, 벤젠 고리와 같은 방향족 고리구조는 고분자 사슬의 굽힘과 회전등이 억제되어 상대적으로 유연하지 못하게 된다.

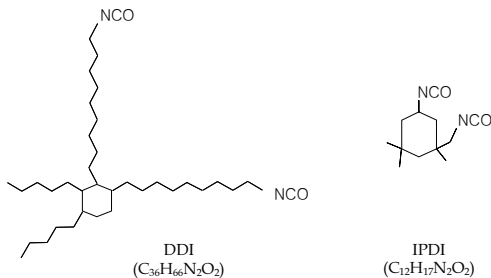


Fig. 1 The comparison of Molecular structure of cure agent

경화제의 분자량 및 구조를 살펴보면 어느 정도 폴리우레탄 반응에서의 특성을 예측할 수 있는데 DDI의 분자크기는 IPDI에 비교하여 상당히 긴 사슬을 가지고 있어, 폴리우레탄 바인더의 물성이 유연한 특성을 나타내는 반면, IPDI는 분자량이 작고 hard segment가 지방족 고리의 cyclo-hexane 구조를 가지고 있어 상대적으로 경직된 특성을 나타내리라 예측된다.

또한, 반응성 측면에서 살펴보면 IPDI가 DDI보다 사슬이 작아 상대적으로 반응이 빠르게 진행될 것으로 판단된다.

Table 1. The chemical properties of cure agent

Chemical properties	DDI	IPDI
Isocyanate(NCO) Index, meq/g	3.33	8.96
Molecular weight	600	222
Viscosity at 25℃, cp	130	14
Hydrozable chloride, wt%	0.05	0.02
Specific gravity at 25 ℃, g/ml	0.924	1.063

상기 표에 열거된 특성들에 대하여 DDI를 기준으로 IPDI 특성을 비교하여 보면 isocyanate (NCO) index는 전체 분자량에서 NCO 당량기가 차지하는 무게분율이므로 분자량이 작은 IPDI의 index가 약 2.7배 높다. 때문에 HTPB와의 동일한 당량비(-OH/-NCO)에서는 IPDI의 적용량은 상대적으로 감소하게 된다. 이러한 요인은 연소방지제 조성비율에서 액상의 함량이 줄어들어 premix 점도가 상승됨으로 공정성에는 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

3. 연소방지제의 조성 연구

연구된 항력감소제의 조성은 경화제인 DDI 수급이 원활하지 않기 때문에 수급이 용이하고 폴리우레탄 반응에 많이 사용되는 IPDI를 채택하였으며, 기타 첨가제들은 기존 조성에서 사용하던 원료를 그대로 적용하는 방안을 추진하였다. 개발 과정에서 제조 공정성(흐름성) 및 추진

제와의 접착력을 고려하여 가소제, 결합제 및 충전제의 함량비를 일부 조절하였다.

신규 BBU용 항력감소제 조성은 수차례에 걸친 pilot 시험 및 양산공정 적용시험을 통하여 최종적으로 조성을 확정 지었다.

4. 연소방지제 특성 연구

4.1 공정성(viscosity build-up)

기존 BBU 연소방지제 조성에 경화제를 DDI 대신하여 IPDI를 적용하였을 경우 점도가 상대적으로 높은 경향을 나타내었다. 이는 IPDI의 isocyanate index가 8.96 meq/g로 DDI 3.33 meq/g 보다 상대적으로 높아 저점도 액상 경화제 함량이 감소하여 초기 점도가 높고, HTPB와의 반응성이 IPDI가 상대적으로 빠르기 때문에 판단되었다. 따라서, 점도를 기존 연소방지제 수준으로 낮추어 동일한 공정성을 얻기 위해서 충전제 함량을 조절하는 개선시험을 추가로 실시하였다.

Table 2. The viscosity of inhibitor

Cure agent \ Time (min)	Viscosity build-up (cp) at 20°C					
	10	20	30	40	50	60
DDI	100	105	112	122	134	148
IPDI	153	172	200	230	262	297

시험내역은 filler 함량변화(60, 55, 50%)에 따른 점도특성을 확인하였으며, 추가로 접착력 향상을 위하여 기존 조성에서 plasticizer 및 bonding agent 함량 변화시험을 실시하였다.

Table 3. The Viscosity by contents of filler

Cure agent	Filler	Viscosity at 20°C (cp)			
		10 min	20 min	30 min	40 min
DDI	60.0%	103	110	120	130
	60.0%	205	223	248	273
IPDI	55.0%	134	150	168	187
	50.0%	44	53	65	80

Filler 함량별 점도특성을 평가한 결과 그 함량이 감소함에 따라 점도 build-up이 낮아지는 경향을 나타내었으며, filler 함량을 53% 적용 시 기존 DDI 적용 연소방지제와 유사한 점도특성을 나타낼 것으로 예측되었다.

이후 시험은 시험결과에 기초하여 filler 함량은 53%를 적용하고 연소방지제를 소량 premix 혼합 및 양산 도포공정에 부분 적용하면서 공정성을 평가하였다. 공정성 평가는 재현성 시험을 포함하여 총 2회에 걸쳐 수행하였으며 모두 기존 DDI를 사용한 연소방지제와 유사한 점도 build-up 특성을 나타내었고 도포 소요시간도 양산과 유사한 공정성을 나타내었다.

Table 4. The inhibitor viscosity of filler 53%

Cure agent \ Time (min)	Viscosity build-up (cp)				
	20	30	40	50	60
IPDI #1	116	120	130	142	160
IPDI #2	115	120	130	145	160

4.2 기계적 성질

신규 연소방지제의 기계적 특성은 기존 조성과 비교하여 인장강도(Sm), 경도(Hs) 및 파단신율(Er)이 모두 높아 기계적 특성이 향상된 우수한 특성을 나타내었다.

Table 5. The mechanical properties of inhibitor

Cure agent	Sm	Er	E ₁₀₀	E	Hs
DDI	18.1	354	6.4	13.8	28
IPDI	33.9	397	12.5	24.3	39

4.3 접착력

IPDI를 적용한 신규 연소방지제의 경우 기존 DDI를 적용한 조성에 비교하여 우수한 접착력 특성을 나타내었다. 이는 기본조성에서 가소제 함량을 감소시켜 가소제의 migration 현상을 감소시키고, 결합제 함량이 증가됨으로써 고분자 binder network의 결합을 강화시켜 접착력이 향상된 것으로 판단된다. 접착계면은 매끄럽게 분

리되는 APL의 특성을 동일하게 나타내었다.

Table 6. The bonding force of BBU between inhibitor and propellant

Cure agent	Bonding force	Remark
DDI	1.40	APL
IPDI	1.67	APL

4.4 Premix 노화특성

BBU 연소방지제는 양산 시 premix 혼화 후 storage tank를 이용 지속적으로 교반, 보관하면서 추진제 배취에 연속적으로 투입된다. 이와 같은 공정을 고려하여 IPDI를 적용한 inhibitor의 premix aging에 따른 연소방지제 특성시험을 실시하였다.

Table 7. The aging properties of BBU inhibitor

Aging condition		Inhibitor mechanical properties				Bonding force
Temp.	Time	Sm	Er	E	Hs	
20℃	1day	34	397	24.3	39	1.67
	7days	33	399	24.2	38	1.66
	14days	32	408	20.9	36	1.51
60℃	7days	30	372	20.1	36	1.53
	14days	27	441	16.7	34	1.48

시험결과는 상온에서 연소방지제 premix를 7일, 14일 aging한 결과 연소방지제 물성 및 접착력이 초기 특성보다 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 고온(60℃)에서 aging된 연소방지제의 특성이 상온(20℃)보다 빠르게 노화됨을 확인할 수 있었다. 이는 모두 시간이 경과되고, 온도가 올라 갈수록 aging이 좀더 진행됨으로써 연소방지제 premix에 포함되어 있는 HTPB등의

hydroxyl 반응기 수가 감소하여 물성을 감소시키고, 추진제와의 결합력을 저해하여 접착력이 감소되는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 특성은 BBU에만 해당되는 사항은 아니고 모든 premix의 고유 특성이다.

따라서, 공정적용 시 premix 보관온도를 낮추고 보관기간을 최소화 하면 보다 우수한 연소방지제의 품질특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

항력감소제용 연소방지제의 경화제로 IPDI로 적용하는 조성을 개발한 결과 연소방지제의 공정성, 기계적 성질, 접착력, premix 노화특성등 모든 특성에서 기존 경화제인 DDI를 적용하는 조성과 비교하여 동등이상의 품질수준을 나타내어 요구된 수준을 만족하였다. 따라서 향후 경화제 수급불안정에 대하여 생산안정성을 확보할 수 있을것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 제1개발본부, "Base Bleed Unit용 고체 추진제 개발(I)", 국방과학연구소, 1994
2. 황준식, 김창기, 박봉엽, 정명지, "사거리연장용 탄저부 항력감소장치 개발", 국방과학연구소, 1995
3. 최성한, 박상호, 황준식, 김창기, "항력감소제용 저연소속도 추진제 조성연구", 유도무기 학술대회(추진기관 분야), 1998