

## 多基準下의 混成固體推進劑 最適組成에 관한 研究

(A Study on Optimal Composition for Composite Solid Propellant  
under Multiple Criteria)

정 병 희\*  
김 기 배\*\*

### Abstract

This paper describes a nonlinear goal programming approach to the optimal composition of composite solid propellant taking multiple characteristics into consideration synchronously.

The nonlinear goal programming model with response functions, restrictions and the optimal value of each characteristic is developed using Scheffe's "Experiments with mixtures" and preference weighting system. Objective functions are described based on process, performance and assurance characteristics.

The systematic approach to optimal composition in this study is proved efficient through a CTPB-AL-AP propellant which is one of composite solid propellant systems.

### I. 序 論

#### I - 1 混成固體推進劑의 重要性和 問題點

固體推進시스템은 國家防衛에 중요한 역할을 수행함과 더불어 潛在的市場性이 높은 제품으로 인식되고 있다. 固體推進劑시스템은 대부분 混成固體推進劑를 사용하고 있으며, 이러한 推進劑는 粘結劑, 金屬燃料, 酸化劑를 主成分으로 하는 多成分混合物시스템이다. 混成固體推進劑

를 사용하는 固體推進시스템의 品質은 여러가지 基準에 따른 多特性을 갖기 때문에 混成固體推進劑의 多特性에 대한 엄격한 品質水準이 적용되고 있다. 그러나 混成固體推進劑에 사용되는 原料들의 相互作用機能(interaction mechanism)에 대한 완전한 이해의 부족으로 관련된 生産技術은 현재까지도 많은 時間과 人的, 物的 資源이 소요되는 實驗과 경험위주의 시행착오적인 방법에 의존하고 있다[6, 8]. 多特性이

\* 숭실대학교 산업공학과

\*\* 국방과학연구소 품질검사소

고려되는 混成固體推進劑의 最適組成決定에 있어 한 特性에만 重點을 두어 시행착오적인 製造實驗에 의존할 때 固體推進劑시스템의 部分最適組成을 구할 가능성이 높으며 時間과 人的, 物的資源이 限定된 實驗環境下에서는 多特性들의 品質水準을 만족할 만한 最適組成的 達成이 어렵다. 混成固體推進劑를 下位시스템으로 사용하는 固體推進劑시스템을 設計함에 있어서 시스템의 性能(performance), 安全性등 어디에 重點을 두느냐에 따라 推進劑의 特性別 設計水準(또는 目標水準)이 決定되며 混成固體推進劑에 있어서는 組成點마다 그에 대응하는 特性別 固有值를 갖는다. 그러므로 特定目的을 갖는 推進劑 시스템에서 요구하는 混成固體推進劑의 多特性에 대한 目標水準 및 成分들은 相互 平衡的이거나 符合하는 複合的 관계에 놓이게 된다(5).

### I - 2 研究對象과 方法

本 研究에서는 混成固體推進劑가 達成하여야 할 多數의 目標들이 推進劑시스템 內, 外的으로 相衡적인 關係가 있음을 考慮하여 最適組成을 定量的으로 求할 수 있도록 體係的인 接近方法을 提示하고자 한다.

研究對象으로 選定된 混成固體推進劑는 主要成分인 粘結劑, 金屬燃料, 酸化劑로서 구성된 CTPB-AL-AP 推進劑 시스템으로 選定하였다.

混成固體 推進劑의 最適組成을 決定함에 있어 製造工程特性으로 推進劑 Paste 점도를 選定하였으며, 混成固體推進劑의 主要 品質特性으로 강조되고 있는 比推力, 燃燒속도, 燃燒熱, 밀도, 最大伸率, 破損伸率, 彈性係數, 接着力을 最適組成決定의 基準特性들로서 選定하였다(1.5).

推進劑 시스템의 組成 결정시 基準特性別 組成에 대한 定量的 關係의 糾明이 先行되어야 하므로, 組成에 대한 反應函數들을 回歸模型에 適合시키고자 Scheffe의 심플렉스 格子배치법(Simplex lattice design) [7, 9]을 應用하여 組成點들을 選定하고, 각각의 組成點에 대응하는 特

性值를 算出하거나 測定하여 多項回歸分析(Multiple regression analysis) [12]에 의한 反應函數들을 구하였다.

CTPB-AL-AP 推進劑 시스템의 定量的 最適組成을 구하기 위한 數理計劃模型을 設計함에 있어서는, 多項回歸分析法를 應用하여 구한 基準特性別 反應函數, 制約條件, 目標水準들을 結合하여 目標計劃法으로 模型化(Modeling)하여, 最適組成을 구하였다.

## II. 實驗方法

### II - 1. 實驗方法的 理論的背景

混合物 시스템인 混成固體推進劑의 最適組成 決定問題에 있어서 組成條件의 基準特性으로 고려되는 工程特性, 性能特性, 保證特性和 같은 反應函數와 이에 대한 說明變數인 組成의 定量的인 關係식은 필수적인 情報이다. 그러나, 이와같은 情報은 研究分野의 特殊性으로 인해 알려진 경우가 거의 없고, 알려져 있더라도 實用성이 적은 복잡한 函數型態을 취하는 것이 대부분으로서, 이와 같은 경우 일반적으로 가정될 수 있는 實際的이고 간편한 反應表面模型은 回歸模型이라 하겠다. 反應表面模型을 回歸模型에 적합시킴에 있어 1차, 2차 回歸模型 그리고 3차 이상의 高次回歸模型도 考慮할 수 있겠으나, 3차 이상의 回歸模型에 있어서는 구하여야 할 많은 母數(parameter)들을 考慮할 때 1차 또는 2차 回歸模型을 考慮하는 것이 實際的이며 實用성이 크다[7]. 3成分 混成物로 이루어진 CTPB-AL-AP 推進劑의 基準特性和 成分들과의 反應表面模型 1, 2차 回歸模型에서 回歸係數들을 구하기 위하여 應用한 Scheffe의 심플렉스 格子배치법은 CTPB-AL-AP 추진 시스템과 같은 3成分 混合物 시스템의 配合比率의 最適化와 相關한 실험배치법에 있어서는 3차의 因子空間(Factor space)이 組成比의 합이 1이 되는 制約條件式에 의하여 2次元 因子空

간의 심플렉스로 축소된다. 그러므로 3成分混合物 시스템의 실험배치는 2次元 因子空間의 심플렉스인 삼각형으로 나타낼 수 있으므로, 삼각형의 실험영역에서 어떤 組成點들을 실험의 처리조합으로 하느냐에 달려있다. 混合物의 실험배치에 관한 實驗計劃法은 Scheffe의 심플렉스 格子배치법이 발표된 이후 Lambrakis의 실험배치법, Snee와 Marquadt의 심플렉스 선별 계획법, Mclean과 Anderson의 꼭지점 배치법 등 다수의 실험배치법들로 부터 고려하는 실험영역 및 適合시키하고자 하는 回歸模型에 적절한 실험배치법을 선택할 수 있다(3, 10).

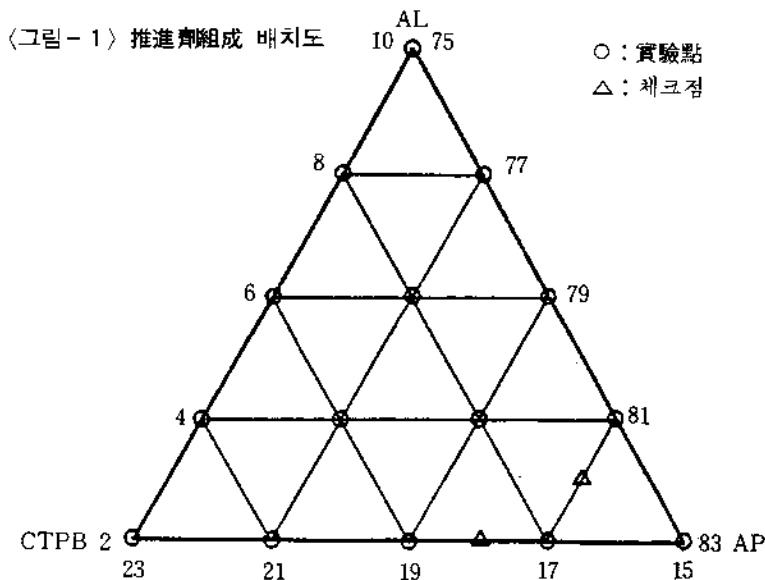
## II - 2. 混成固體推進劑의 실험배치

統計的 實驗計劃法에 의한 獨立變數와 從屬變數의 定量的 關係식인 反應函數를 구함에 있어 주요 고려사항은 (1)관심있는 실험영역에서 反應(特性)을 근점시킬 수 있는 적절한 模型의 선택, (2)그 영역에서 反應表面을 나타내는 模型의 適合性 檢定, (3)特性值들의 수집, 模型의 適合 및 檢定을 위한 적절한 실험배치이다. 이러한 관점에서 Scheffe의 심플렉스 格子배치법을 살펴볼 때, 주목할 점은 적합한 回歸方程式

을 구할 수 있는 最少의 實驗點의 數, 간편한 回歸係數의 計算節次등을 利點으로 들 수 있다 [2]. 그러나 混成固體推進劑와 같이 관심을 갖는 特性이 構成原料들의 化學量論的(Skoichiometric reaction) 結果라든가, 製造工程性에 의한 限定된 實驗領域을 취하는 경우 Pseudocomponent를 하나 이상 사용하고 있는 Scheffe의 模型을 그대로 사용할 수가 없다. 특히, 反復實驗을 하지 않는 경우 적합한 回歸模型의 適合性 여부를 檢定할 수 없다. 여기서는 CTPB-AL-AP推進劑시스템의 製造工程 및 관심영역을 고려하여 실험배치영역을

$$2 < \text{金屬材料} < 10, 15 < \text{粘結劑} < 23, 75 < \text{酸化劑} < 83, \text{單位: \%}$$

으로 하여, 2次元의 축소된 심플렉스가 되도록 하고, 組成點들을 배치함에 있어서는 Scheffe의 格子배치법을 사용하였다. CTPB-AL-AP推進劑시스템의 組成에 대한 反應表面模型으로 適合시킨 回歸模型의 適合性 여부를 일반적인 多項回歸分析으로 檢定하는데 충분한 자유도(Degrees of freedom)을 갖도록 格子배치에 의한 데이터 및 實驗點들을 (그림-1)과 같이 배치하였다.



### II-3. 實驗方法 및 結果

CTPB-AL-AP推進劑시스템의 조성배치도인 <그림-1>의 組成圖를 갖는 推進劑組成의 特性值 算出方法과 1 Gallon의 混成容量을 갖는 Baker perkins co.의 垂直混合機를 사용하여 제조한 推進劑에 대해 組成決定의 基準特性別 試驗試片의 製作 및 試驗方法은 다음과 같다.

#### 가. 工程特性(Process characteristics)

製造工程性(processability)의 척도로서 선정된 推進劑 paste의 점도는 混合完了 직후 拔取한 樣本을 Brookfield viscometer로 測定하였다.

#### 나. 性能特性(Performance characteristics)

(1)比推力(Specific impulse)은 熱力學的 化學平衡 關係를 이용하여 算出한 理論值를 사용하였다[8].

(2)燃焼속도(Burning rate)는 Cigarette 형의 試驗試片  $\phi 6\text{mm} \times 13.5''$ 를 拔取하여 Atlantic research co.의 Strand burner로 測定

하였다.

(3)燃焼熱(Heat of explosion)은 試驗試片 3-5g을 취급하여 Parr instrument의 Adiabatic calorimeter로 測定하였다.

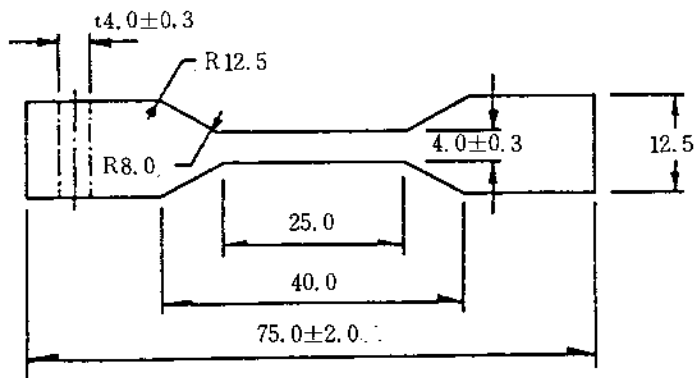
(4)밀도(Density)는 육면체형의 試驗試片 4-8g을 취급하여, Toyo seiki ltd.의 Densimeter M1으로 測定하였다.

#### 다. 保證特性(Assurance characteristics)

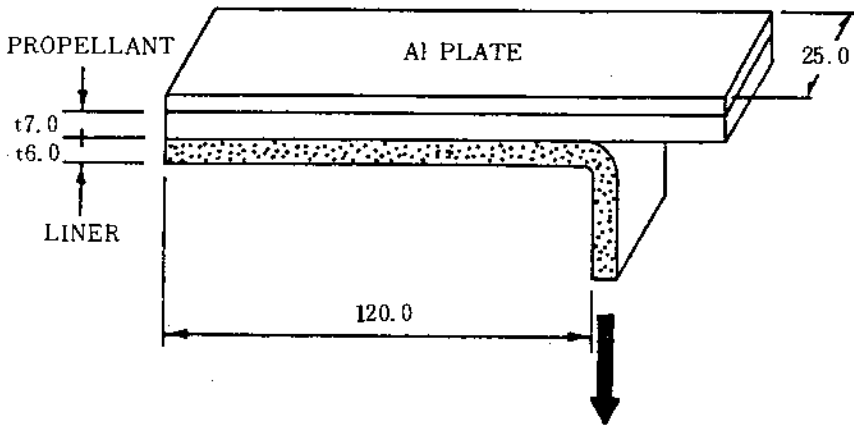
(1)경도(Hardness)는 引張試驗時(Tensile test) 試驗試片에 대해 Shore durometer type A로 測定하였다.

(2)引張강도(Maximum stress), 最大伸率(Maximum elongation), 破壞伸率(Rupture elongation), 彈性係數(Young's modulus)는 20%의 彈性係數로서 <그림-2>의 試驗試片을 製作하여 Toyo Seiki ltd.의 Strograph M100으로 測定하였다.

(3)接着力(Bonding force)은 Peel strength로서 <그림-3>의 試驗試片을 製作하여 Toyo seiki ltd.의 Strograph M100으로 測定하였다.



<그림-2> 引張試驗試片



〈그림-3〉 接着力試驗試片

이상의 理論的 算出過程과 實驗方法에 의하여  
〈그림-1〉의 組成點을 갖는 CT B-AL-AP 推

進劑의 組成決定時 基準特性別 特性値는 〈표-1〉과 같다.

〈표-1〉 基準特性別 特性値

組 成 點			工 程 特 性	性 能 特 性					保 證 特 性				
金屬 燃料	粘結劑	酸化劑	점도	燃 燒					引張 강도	最大 伸率	破 壞 伸率	彈 性 係數	接着力
				比推力	燃燒熱	속도	밀 도	경도					
0.10	0.15	0.75	16.1	257.4	1458.8	11.01	1.7225	53	8.7	49.5	67.0	29.8	2.05
0.08	0.15	0.75	11.4	251.7	1328.2	9.59	1.6813	47	7.6	65.3	82.9	25.3	1.86
0.08	0.15	0.77	18.6	255.2	1432.8	11.10	1.7134	55	8.5	34.7	44.8	35.8	1.90
0.06	0.19	0.75	8.8	244.1	1204.6	8.47	1.6422	43	6.7	85.4	119.4	17.5	1.52
0.06	0.17	0.77	13.3	248.9	1295.7	9.84	1.6690	51	7.6	42.9	57.6	28.5	1.61
0.06	0.15	0.79	20.7	252.8	1401.5	11.25	1.7023	55	8.0	37.8	57.6	32.3	1.88
0.04	0.21	0.75	6.2	234.9	1102.1	7.80	1.6052	42	5.6	64.2	103.9	17.6	1.36
0.04	0.19	0.77	10.3	240.7	1182.6	8.91	1.6347	46	6.0	56.1	85.3	20.1	1.59
0.04	0.17	0.79	12.2	245.9	1279.4	10.13	1.6654	51	7.6	45.5	66.3	27.0	1.60
0.04	0.15	0.81	19.0	250.3	1376.2	11.60	1.6983	53	7.9	37.7	55.9	32.2	1.63
0.02	0.23	0.75	4.2	224.4	998.0	7.33	1.5654	38	4.5	59.2	136.4	16.4	1.08
0.02	0.21	0.77	5.0	230.9	1068.3	8.17	1.5981	42	5.4	59.1	110.2	18.5	1.33
0.02	0.19	0.79	9.6	237.1	1155.0	9.24	1.6278	43	6.0	62.4	93.6	19.5	1.37
0.02	0.17	0.81	13.1	242.7	1249.6	10.49	1.6575	50	7.0	45.4	70.1	26.5	1.61
0.02	0.16	0.83	17.7	247.5	1348.2	11.83	1.6879	53	8.1	38.5	54.1	31.2	1.63
0.03	0.16	0.81	15.1		1311.6	10.90	1.6770	51	7.3	42.2	55.2	27.9	1.70
0.02	0.18	0.80	11.0		1200.2	9.80	1.6422	48	6.5	49.6	69.5	23.3	1.28

〈표-1〉의 결과를 사용하여 推進劑 組成에 結果는 〈표-2〉와 같다.  
 대한 反應表面 模型으로서 回歸模型에 適合시킨

〈표-2〉 多項回歸分析結果

特 性		反 應 函 數	決定係數
性能特性	比推力 (ISP)	$G_1 = -520.31X_2 + 264.83X_3 + 2063.35X_1X_2 + 265.11X_1X_3 + 764.37X_2X_3$	0.9999
	燃燒속도 (SBR)	$G_2 = 98.75X_1 + 102.176X_2 + 27.555X_3 - 394.618X_1X_2 - 74.102X_1X_3 - 208.055X_2X_3$	0.9994
	燃燒熱 (HOE)	$G_3 = 3940.08X_1 + 5085.87X_2 + 2370.25X_3 - 12811.1X_1X_2 - 11416.26X_2X_3$	0.9995
	밀 도 (DY)	$G_4 = 2.3012X_1 + 0.3717X_2 + 1.912X_3$	0.9985
	경 도 (HS)	$G_5 = 78.2X_1 - 123.3X_2 + 85.3X_3$	0.9308
	引張강도 (MS)	$G_6 = 24.02X_1 - 28.27X_2 + 14.02X_3$	0.9760
	最大伸率 (ME)	$G_7 = 4957.95X_1 - 1491.98X_2 + 11349.57X_1X_2 - 8537.31X_1X_3 + 2200.12X_2X_3$	0.8240
	破損伸率 (RE)	$G_8 = 5708X_1 + 1652.34X_2 - 7919.60X_1X_3 - 1412.64X_2X_3$	0.8936
	彈性係數 (YM)	$G_9 = -1239.57X_1 + 933.83X_2 + 97.47X_3 - 2607.03X_1X_2 + 2057.71X_1X_3 - 1540.38X_2X_3$	0.9517
	接着力 (BF)	$G_{10} = 7.205X_1 - 3.724X_2 + 2.476X_3$	0.9337
工程特性	점 도 (VY)	$G_{11} = -1278.31X_1 + 785.62X_2 + 82.84X_3 - 986.60X_1X_2 + 1758.63X_1X_3 - 1361.79X_2X_3$	0.9818

### Ⅲ. 多基準下의 最適組成

#### Ⅲ-1 最適組成을 위한 品質特性和 目標水準

推進시스템에 적용되는 混成固體推進劑의 最適組成 決定에 있어 주어진 製造工程의 特性和 적용시스템들에 適合한 品質水準을 갖는 多數의 基準들이 수반되며, 이들 基準들은 서로 相衡的인 關係에 있는 것이 대부분이다. 이들 多數의 特性들을 동시에 고려한 最適組成의 도출을 위해서 CTPB-AL-AP 推進시스템의 實驗結果로부터 尤호한 基準特性들의 反應函數들을 사용하여 비선형모형계획법에 따른 定量的 模型을 수립하였다.

먼저, CTPB-AL-AP 推進시스템의 最適組

成決定時 獨立시스템 또는 下位시스템으로 고려하는 경우 다음과 같은 工程制約 및 品質水準을 設定하였다.

(1) 推進劑의 製造工程性 척도로서 선택한 推進劑 Paste의 점도는 다음과 같다.

$$5\% < \text{점도 (VY)} < 20\%$$

(2) 最適組成의 標準特性들로서 선택한 保證特性들은 최소한의 品質水準을 갖는 것이 일반적인 경우이나, 性能特性和 마찬가지로 實驗領域內 工程特성에 대한 可用範圍에서 각각의 特性만을 고려한 경우의 最適値를 目標水準(設計水準)으로 한다.

이때 最適値는 〈표-2〉의 特性別 多項回歸分析結果 얻어진 反應函數들을 사용, 비선형모형

으로 구할 수 있다. 예를 들면 比推力에 대한 目標水準은 다음 數式模型에 의해서 算出된다.

$$\text{Max. } Z = -520.31X_2 + 264.83X_3 + 2063.35X_1 X_2 + 265.11X_1 X_3 + 764.37X_2 X_3$$

s. t

$$5 < -1278.31X_1 + 785.62X_2 + 82.84X_3 - 986.6 X_1 X_2 + 1758.63X_1 X_3 - 1361X_2 X_3 < 20,$$

$$0.02 < X_1 < 0.1,$$

$$0.15 < X_2 < 0.23,$$

$$0.75 < X_3 < 0.83,$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1,$$

$X_1$  : 金屬燃料의 組成比,

$X_2$  : 粘結劑의 組成比,

$X_3$  : 酸化劑의 組成比

기타 기준들에 대해서도 이와 유사한 모형을 사용하며, 산출된 기준별 목표수준은 <표-3> 과 같다.

<표-3> 單一基準別 最適組成 및 最大値

特 性	最 大 値	最 適 組 成		
		金 屬 燃 料	粘 結 劑	酸 化 劑
比 推 力 (SIP)	257.2727 ( $b_1$ )	0.0987	0.1500	0.7512
燃 燒 速 度 (SBR)	11.8554 ( $b_2$ )	0.0200	0.1500	0.8300
燃 燒 熱 (HOE)	1175.0004 ( $b_3$ )	0.0200	0.1500	0.8300
밀 도 (DY)	1.7193 ( $b_4$ )	0.0987	0.1500	0.7512
경 도 (HS)	53.8680 ( $b_5$ )	0.0200	0.1500	0.8300
引張 강 도 (MS)	8.6640 ( $b_6$ )	0.0987	0.1500	0.7512
最大收率 (ME)	105.1242 ( $b_7$ )	0.0992	0.1825	0.7182
破損收率 (RE)	124.0033 ( $b_8$ )	0.0457	0.2150	0.7392
彈性係數 (YM)	34.2419 ( $b_9$ )	0.0612	0.1500	0.7887
接着力 (BF)	2.0129 ( $b_{10}$ )	0.0987	0.1500	0.7512

### III - 2. 비선형목표계획모형

混成固體推進劑는 組成點(Composition point) 이 결정되면 回歸模型에 대응하는 特性別 固有值(Intrinsic value)를 갖는다. 混成固體推進劑의 最適組成決定時 多特性들에 대한 目標水準을 갖게 됨으로서 이들 特性들은 相互 相衡的이거나 符合的인 관계가 된다. 따라서 混成固體推進劑의 最適組成結定 相衡的인 관계에 놓이게 되는 多數의 特性들을 동시에 고려한 最適組성을 구하기 위해서 目標水準達成에 優先順位

(Priority)를 나타내는 加重體系(Preference weighting system)가 필요하다. 본 연구에서는 混成固體推進劑 시스템의 品質特性만을 고려하여 最適組성을 구하는 경우, 工程性이 고려안된 最適條件을 구할 수도 있으므로 이를 피하기 위하여 工程性的 척도인 점도의 可用範圍를 最優先順位로 하고, 混成固體推進劑의 諸特性을 동시에 고려하여 <표-4>와 같은 加重體系를 技術的으로 設定하였다.

〈표-4〉加重體系

區分	優先順位
加重體系 1	1 : 工程特性的 可用範圍 2. 諸特性
加重體系 2	1. 工程特性的 可用範圍 2 : 性能 諸特性 3 : 保證 諸特性
加重體系 3	1. 工程特性的 可用範圍 2. 保證 諸特性 3 : 性能 諸特性
加重體系 4	1 : 工程特性的 可用範圍 2. 比推力, 彈性係數, 接着力 3 : 燃燒 속도, 引張 강도, 破損伸率 밀도 4 : 燃燒熱, 경도, 最大伸率

模型의 目的函數는 加重體系에 따라서 다르게 表現되지만, 制約條件은 工程特性的 反應函數 實驗배치영역 및 特性制約 條件으로 構成되어 加重體系에 따른 變動이 없다. 加重體系1의 경우 公定제약조건, 〈표-3〉 및 〈표-4〉로부터 수립되는 비선형 目標計劃模型은 다음과 같다.

$$\text{Min. } \bar{a} = \{ (n_{11} + p_{12} + n_{13} + p_{14} + n_{15} + p_{16} + n_{17} + p_{18} + n_{19} + p_{10}), \\ (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8 + n_9 + n_{10}) \}$$

s.t

$$G_i + n_i - p_i = b_i, \quad i=1, 2, \dots, 10, \\ G_{11} + n_{11} - p_{11} = 5, \\ G_{11} + n_{12} - p_{12} = 20, \\ X_1 + n_{13} - p_{13} = 0.02, \\ X_1 + n_{14} - p_{14} = 0.10, \\ X_2 + n_{15} - p_{15} = 0.15, \\ X_2 + n_{16} - p_{16} = 0.23, \\ X_3 + n_{17} - p_{17} = 0.75, \\ X_3 + n_{18} - p_{18} = 0.83, \\ X_1 + X_2 + X_3 + n_{19} - p_{19} = 1, \\ \bar{X}, \bar{n}, \bar{p} > 0.$$

加重體系 2, 3, 4는 目的函數만 다음과 같이 달라진다.

$$\text{加重體系 2; } \bar{a} = \{ (n_{11} + n_{12} + n_{13} + p_{14} + n_{15} + p_{16} + n_{17} + p_{18} + n_{19} + p_{10}), (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8 + n_9 + n_{10}) \}$$

$$\text{加重體系 3; } \bar{a} = \{ (n_{11} + p_{12} + n_{13} + p_{14} + n_{15} + p_{16} + n_{17} + p_{18} + n_{19} + p_{10}), (n_5 + n_6 + n_7 + n_8 + n_9 + n_{10}), (n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \}$$

$$\text{加重體系 4; } \bar{a} = \{ (n_{11} + p_{12} + n_{13} + p_{14} + n_{15} + p_{16} + n_{17} + p_{18} + n_{19} + p_{10}), (n_1 + n_9 + n_{10}), (n_2 + n_4 + n_6 + n_8), (n_3 + n_5 + n_7) \}$$

性能特性 및 保證特性的 最大值를 目標水準으로 할때 앞의 모형에 따른 加重體系別 成就水準은 〈표-5〉와 같다.

〈표-5〉의 結果는 同一水準 내에서는 同一한 加重值를 부여한 것으로써 加重體系에 따라서 最適組成值가 順位體系에 따라 相異點을 보이고 있다. 이는 混成固體推進劑가 達成하여야 할 多水 目標水準들을 갖게 됨으로서 推進劑를 構成하는 成分 및 品質水準들이 相互 相衡的이거나 符合되는 混合性을 갖게 됨과 加重體系에 기인한 結果라 하겠다. 이상에서 보는 바와 같이 目標計劃法을 이용한 最適組成을 구할 경우, 推進劑시스템의 諸特性을 同時 고려한 最適의 品質水準과 最適組成에 대한 定量的인 情報를 얻을 수 있다.

推進劑시스템을 多種의 推進시스템들에 적용을 고려한 경우 未成就特性과 特性別 未成就量에 대한 定量的인 情報를 제공하여 줌으로서, 고려하는 推進劑시스템에 대한 신속한 적용여부의 결정과 成就水準의 調整이 可能한 경우 그에 適合한 最適組成을 決定할 수 있다.

#### IV. 結 論

混成固體推進劑시스템의 最適組成에 관한 考察과 관련하여 研究對象으로 선택한 CTPB-AL-AP推進劑시스템에서,



〈표-5〉 目標計劃模型別 最適組成 및 成就水準(加重值量 1로 한 경우)

區 分	目 標 水 準	模 型 別 成 就 水 準				
		模 型 1	模 型 2	模 型 3	模 型 4	
最 適 組 成	金屬燃料	0.02-0.10	0.0200	左 同	0.0601	0.0887
	粘 結 劑	0.15-0.23	0.1500	"	0.1899	0.1500
	酸 化 劑	0.75-0.83	0.8200	"	0.7500	0.7613
比 推 力	257.3	247.5	"	244.2	256.2	
燃 燒 속 度	11.86	11.855	"	8.528	11.05	
燃 燒 熱 度	1175	1175	"	777	748	
밀 도	1.72	1.689	"	1.643	1.7156	
경 度	54	54	"	45.3	53.4	
引 張 强 度	8.7	7.9	"	6.59	8.56	
最 大 收 率	105	42	"	72.7	41.7	
破 損 收 率	124	55	"	98.6	58.0	
彈 性 係 數	34	31	"	19.5	32.7	
接 着 力	2.0	1.6	"	1.6	2.0	
점 度	5.0-20.0	17.7	"	8.5	17.6	

(1) 推進劑特性別 最適組成(표-3)에서 보는 바와 같이 特性에 따라 最適組成이 서로 相異함을 볼 때, 單一特性만을 고려하여 구한 最適組成은 推進劑시스템 전체의 最適條件이 아닌 부분일 가능성이 높음을 알 수 있었다.

(2) 多特性을 동시에 고려한 最適組成의 도출을 가능케 하여 주는 목표계획법에 의한 最適組成(표-5)에서 보는 바와 같이 多特性을 고려한 最適條件을 구하더라도 最適組成決定 환경에 따라 最適組成이 相異함을 알 수 있다.

본 연구에서 제시한 最適組成의 체계적인

접근방법은 다특성의 품질수준이 요구되는 일반적인 混成固體推進劑 시스템의 最適組成決定에 이용할 수 있겠으며, 특히,

(1) 경험 및 실험에 의존하는 混成固體推進劑의 비과학적 組成決定에 多特性을 동시적으로 고려한 定量的 最適組成決定의 可能,

(2) 多特性에 대한 品質水準別 達成可能한 推進劑시스템의 最適組成 및 水準의 신속한 제시 등으로 새로운 混成固體推進劑시스템 最適組成의 效率의인 決定과 주어진 推進劑시스템의 最適活用을 도모할 수 있을 것이다.

### Reference

1. Chaiken, R. E., and Anderson, W. H., "The Role of Binder in Composite Propellant Combustion," Solid Propellant Rocket Research, Vol. 1, pp. 227~249, January 1960.
2. Cornell, J. A., "Experiments with Mixtures: A Review," Technometrics, Vol. 15, No. 3, pp. 437~455, August 1973.

3. Gorman, J. W., and Hinman, J. E., "Simplex Lattice Designs for Multicomponent Systems," *Technometrics*, Vol. 4, No. 4, pp. 463~487, November 1962.
4. Ignizio, J. P., *Goal Programming and Extensions*, Lexington Books, Lexington, 1976.
5. Marsh, H. E., and Hutchison, J. J., "Solid Propellants," *Chemistry in Space Research*, pp. 361~463, American Elsevier Publishing Company Inc., New York, 1972.
6. Mastrolia, E. J., and Klager, K., *Propellants Manufacture Hazards and Testing*, pp. 84~187, American Chemical Society, 1969.
7. Murty, J. S., and Das, M. N., "Design and Analysis of Experiments With Mixtures," *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 39, No. 5, pp. 1517~1539, 1968.
8. NASA-SP-8075, *Solid Propellant Processing Factors in Rocket Motor Design*, Technical Information, October 1971.
9. Scheffe, H., "Experiments with Mixtures," *J. Roy. Statist. Soc., Series B*, 20, No. 2, pp. 344~360, 1958.
10. 朴聖炫, 現代實驗計劃法, 大英社, 서울, 1982.