

단일 그레인을 갖는 추진기관 그레인의 연소표면적 산출기법 연구

강경훈* · 이준호** · 송신영*** · 정종록*

A Study on determinate method of propellant burning area with single grain shape

Kyoung-Hoon, Kang* · Junho Lee** · Sin-Yeong Song*** · Jonrok Chung*

ABSTRACT

In this study, we have constructed this algorithm that theoretical method for prediction performance of the internal ballastic analysis. And we have confirmed reliability, compared the value calculated by realized program with the value computed by modeling program. A basic concept of algorithm expresses combustion phenomenon to move each factor(node) according to the time increment like as Finite element method. And we have confirmed this realized program has sufficient possibility to utilize in the internal ballastic analysis.

초 록

본 연구에서는 추진기관의 내탄도 성능을 이론적으로 예측하는 방법 중 가장 중요한 정확도를 가늠하는 그레인 형상 및 시간변화에 따른 연소표면적 및 변화량을 산출하는 알고리즘을 구성하였으며, 구현된 프로그램에 의해 계산된 값을 모델링 프로그램에서 산출된 값과 비교하여 신뢰성을 확인하였다. 알고리즘의 기본 개념은 추진체 그레인 형상을 단면방향과 길이방향으로 요소화하여 각 요소가 시간증분에 따라 좌표 이동하여 연소현상을 표현하였으며, 이렇게 구현된 프로그램은 내탄도 해석에 활용할 수 있는 충분한 가능성을 확인하였다.

Key Words : 내탄도 해석, 연소표면적, 알고리즘

1. 서 론

고체 추진기관은 일단 연소가 시작되면 연소

의 중단 및 재 점화가 어렵기 때문에 추진체의 종류와 그레인의 형상 등을 조정하여 원하는 성능을 얻는다. 이러한 추진기관에 대해 원하는 성능을 얻고자 매번 설계, 제작, 시험한다는 것은 많은 시간과 경비가 소요되는 어려운 과정으로 가능하면 이 과정을 줄여야 하는 것이 필수적이다. 시험 전에 추진기관의 성능을 이론적으로 계

* (주)한화/대전사업장 체계종합부
** (주)한화/대전사업장 개발부
*** (주)한화/대전사업장 품질보증부
연락처, E-mail: kkang8995@hanwha.co.kr

산하는 것을 내탄도 해석이라 하며 시험성능과 비교하여 그 차이가 없도록 예측하기 위한 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다. 또 그레이 설계, 내탄도 해석, 성능 손실 계산을 묶어서 계산할 수 있는 프로그램에 대한 연구도 계속 진행되고 있다.

내탄도 해석은 설계된 추진기관의 성능을 시험 전에 예측할 수 있게 하고, 실제 시험결과를 다음 설계에 활용할 수 있으므로 보다 짧은 기간에 시스템이 요구하는 추진기관을 설계하는데 중요한 역할을 한다. 근래에 들어 시스템에서 요구하는 추진기관의 성능이 보다 정확하고 세분화되어 있어 내탄도 해석의 정확성이 중요해지고 있다. 이러한 내탄도 해석의 가장 중요한 인자인 추진제 그레이의 연소표면적을 산출하기 위해 현재 보편화된 방법은 3차원 모델링 프로그램을 활용하여 각 시간증분에 대해 연소표면적을 계산하는 것이다. 이러한 방법은 시간증분의 설정에 따라 연소종료 시 까지 적어도 20번, 많게는 100~200번의 연소표면적을 산출하여야 하며 이러한 방법은 연소표면적 산출 회수와 내탄도 해석의 정확도가 비례하기 때문에 보다 정확한 내탄도 해석을 위해서는 많은 시간 및 경비가 소요된다.

본 연구는 보다 정확하고 빠른 내탄도 해석을 위해 시간증분에 따른 연소표면적 산출 알고리즘 개발 및 구성하였고, 프로그래밍을 통하여 구현하였으며 모델링 프로그램으로 산출된 값과 비교 및 확인해 보았다.

2. 알고리즘 구성

알고리즘에 대한 전체적인 구성 및 순서도는 Figure 1과 같다.

세부적인 내용을 보면, 캐드 프로그램 등에서 추진제 그레이 전체형상 중 단면형상과 길이방향형상 및 경계조건 형상의 데이터를 참조하여, 각각의 형상을 구성하는 요소점의 좌표를 추출한다. 추출한 각각의 기본형상에 대해 연소속도에 따른 단위시간당 형상 변화량을 확인하며, 이

때 각각의 형상을 구성하는 개별 요소점의 변화량(방향 및 거리)은 기준 연소속도 및 이웃하는 두 요소점과의 상대각을 고려한다. Figure 2의 형상 변화량 개념도를 참조하면 임의의 점 P_X 와 P_{X-1} , P_{X+1} 세점 및 연속한 두점이 이루는 평면 벡터를 $V_1(P_X - P_{X-1})$, $V_2(P_{X+1} - P_X)$ 라고 정의할 경우 P_X 의 형상변화에 따른 좌표이동의 방향은 V_1 , V_2 방향의 평균이며, 이동량(변화량)은 V_1 , V_2 및 좌표이동 방향에 따라 구분된다. 따라서, V_1 과 V_2 가 이루는 각이 180° 보다 큰 경우는 순수한 이동량 만큼 좌표이동 값을 가지나, Figure 3에 보는 바와 같이 V_1 과 V_2 가 이루는 각이 180° 보다 작은 경우 주위요소의 이동량 때문에 침식현상이 발생되어 요소점의 이동거리는 기준이 되는 이동량에 Equation 1과 같은 가중치를 가지게 된다.

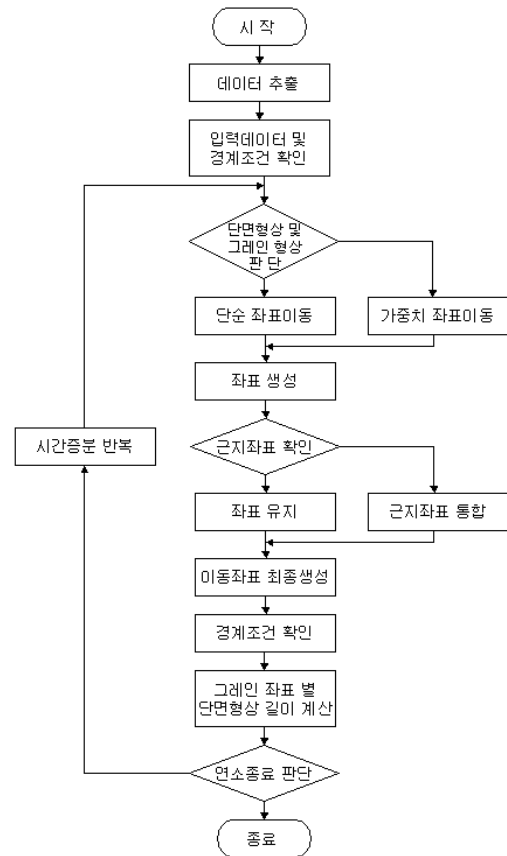


Fig. 1 알고리즘 순서도

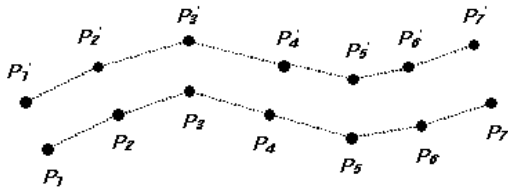


Fig. 2 형상변화량 개념

이렇게 계산된 각 요소들의 좌표 이동량을 고려하여 기존좌표에서 좌표이동을 하면 1차 형상 변화가 결정된다. 그러나 위의 가중치를 가지는 좌표이동에 대해서는 좌표이동을 반복할수록 요소점들이 가까워지며 이는 알고리즘의 계산시간을 무의미하게 증가 시키고 결국엔 좌표의 위상 즉, 좌표순서가 바뀔 수 있으므로 근거리의 좌표에 대해 통합 작업을 실시하여야 한다.

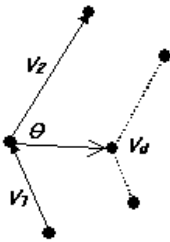


Fig. 3 가중치를 가지는 좌표이동

$$\omega = \frac{1}{\sin \theta} \quad (1)$$

통합작업까지 끝나면 시간증분에 따른 추진체 그래인의 형상변화 이동이 완료되며 경계조건인 추진체 그래인 외경 등을 고려하여 단면 형상의 길이를 계산할 수 있다. 최종적으로 Figure 4와 같이 길이방향 그래인 형상에 대해 단위길이에 대한 단면형상의 그래인 길이를 곱하여 누적하는 방법으로 전체 연소면적을 산출하였다. 이때, 길이방향 그래인형상의 단위요소 각이 변화는 정도와 그 크기에 따라 그래인 단면형상의 요소점 변환 및 수정을 하여 단면형상 길이에 대해 최종 결정길이를 먼저 산출하여야 한다. 이러한 좌표이동 및 길이, 면적 계산 작업을 연

소가 종료되는 시간 및 그 시간에 따른 좌표이동 만큼 계산을 반복하면 시간증분에 따른 추진체 그래인 연소면적 변화를 확인 및 산출할 수 있다.

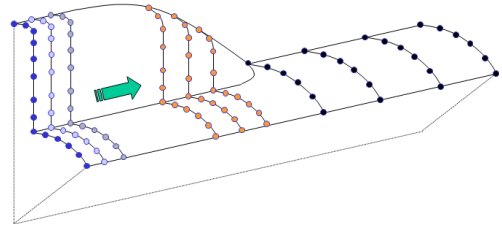


Fig. 4 면적산출 참고도

3. 결과 및 고찰

3.1 알고리즘 구현 프로그래밍

프로그래밍에 적용된 모델은 Figure 5와 같이 추진기관 모델 중 가장 간단한 형상으로 진행하였다.

캐드프로그램에서 추출한 추진기관 단면형상 및 추출 요소점과 길이방향 그래인 형상 및 경계조건 형상 등은 Figure 6 ~ Figure 9과 같다.

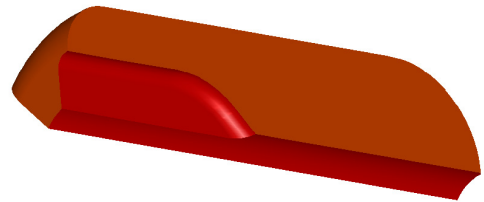


Fig. 5 기준 모델(45°axisymmetric)

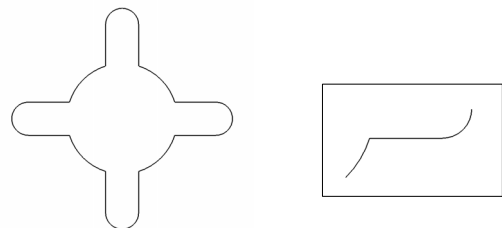


Fig. 6 단면방향 형상

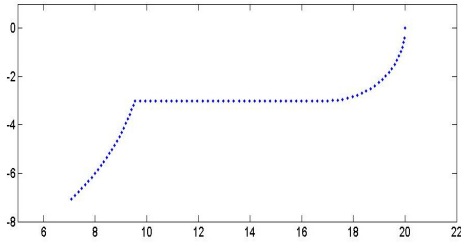


Fig. 7 단면형상 추출 요소점

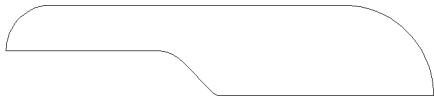


Fig. 8 길이방향 형상

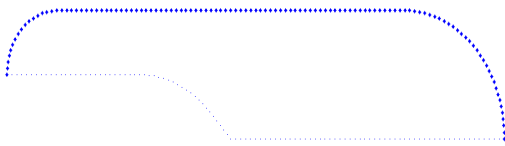


Fig. 9 길이방향 형상 추출 요소점 및 경계조건

Fig. 7 및 Fig. 9과 같이 초기 추진제 그레인 형상에 대해 단면형상은 약 0.2의 거리로 요소화 하여 총 85개의 요소 점들로 구성시켰고, 길이방향 형상은 약 1.0의 거리로 요소화 하여 105개의 요소점들로 구성하였으며, Fig. 9의 굵은 요소점과 같이 경계조건 역시 1.0의 거리로 요소화 하여 118개의 요소로 구성하였다. 전체적으로 각각의 요소형상에 대해 100개 내외로 맞추었다.

Table 1. 프로그램 적용 주요 변수

주요 변수	단면방향	길이방향	경계조건
요소사이 거리	0.2	1.0	1.0
요소점 개수	85	105	118
단위 변화량	0.1		
최종 변화량	20.0		
근지 기준거리	0.15		
반복 회수	200회		

이러한 요소형상의 시간증분에 따른 그레인 형상변화량, 즉 요소점의 좌표이동량은 매 순간 0.1로 하였고, 한번 이동된 요소점들은 각각의 요소점들 사이의 간격이 0.15 이내인 경우 통합 작업(merge)을 실시하였다. 이러한 주요 변수에 대해 Table 1과 같이 정리하였다.

3.2 알고리즘 구현 결과

그레인 단면형상 및 길이방향 형상에 대한 요소형상 변화는 Figure 10 및 Figure 11과 같다. 그림의 판독을 위해 5회 계산반복 후 1회씩 도시화 하였고, Fig. 11에서는 Fig. 9에서와 같이 굵은 요소점으로 경계조건을 구분하였다.

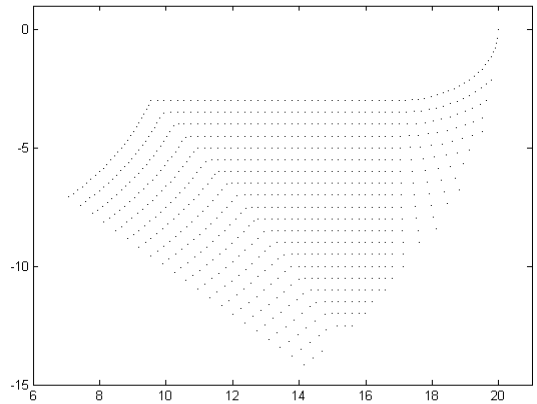


Fig. 10 단면형상 좌표이동 결과(Plotting)

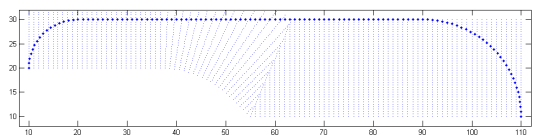


Fig. 11 길이방향 형상 좌표이동 결과(Plotting)

그레인 단면형상을 수정 및 보완하고 및 길이방향 형상을 조합하여 매 순간의 연소시간에 따른 연소표면적 산출을 하였으며, 산출된 값과 모델링 프로그래밍 계산 값에 대한 비교는 Figure. 12와 같다. 연소표면적 변화량은 100회 계산반복까지 증가를 보이고 있으며 이후 경계조건에 의해 계산에 제외되는 요소점 및 면적이 고려되어

순차적으로 감소된다. 계산이 반복될수록 요소점 사이의 간격이 넓어지는 부분이 발생이 되며, 이러한 부분이 경계조건에 의해 삭제되어 연소표면적 결과값이 불규칙한 감소를 보이고 있으며 다른부분 보다 오차가 크다. 정량적인 결과 및 오차를 위해 Table 2와 같이 모델링 프로그램에 의해 산출된 9개의 데이터 결과와 비교를 하였다.

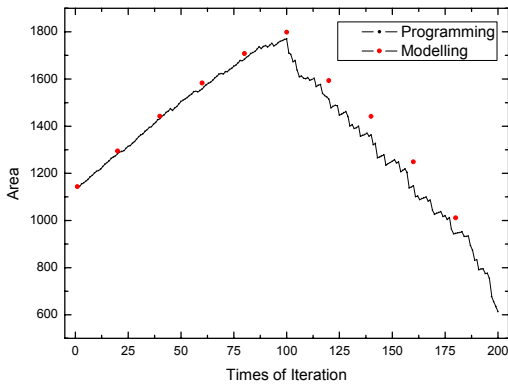


Fig. 12 계산반복에 대한 연소표면적 결과

Table. 2 산출결과(프로그래밍 vs. 모델링)

계산반복	Prog.	모델링	오 차
초기	1,143.01	1,143.69	0.15%
20	1,283.27	1,294.02	0.83%
40	1,431.37	1,442.36	0.76%
60	1,557.77	1,582.82	1.58%
80	1,683.93	1,708.08	1.41%
100	1,769.91	1,798.61	1.60%
120	1,514.41	1,592.89	4.93%
140	1,362.87	1,441.12	5.43%
160	1,147.28	1,248.68	8.12%
180	945.06	1,011.15	6.54%
말기	612.88	-	-

Fig. 12에 대한 정량적 결과로 Table 2를 보면 그래인 형상에 따라 경계조건에 의해 요소점의 삭제 등이 미비하게 발생하는 계산반복 100회 반복까지는 1.5% 내외의 오차를 보이고 있으며, 경계조건에 의한 요소점의 삭제가 본격적으로 이루어지는 계산반복 100회 이후는 5 ~ 8% 정도의 오차를 보이고 있다.

4. 결 론

시간증분에 따른 연소표면적 산출 알고리즘을 구성, 프로그래밍을 통하여 구현하였다. 모델링 프로그램으로 산출된 값과 비교 및 확인하여, 그 결과값이 알고리즘 및 프로그래밍에 대해 신뢰할 수 있는 수준임을 확인하였다. 또한, 알고리즘이 실제상황을 완벽히 표현하지 못하는 부분을 보완하여 오차를 줄이면 내탄도 해석에 적용할 수 있는 가능성을 보였다.

참 고 문 헌

1. Shoichiro Nakamura, Numerical Analysis and Graphic Visualization with MATLAB, Prentice - Hall Inc, 2001.
2. Brian D. Hahn and Daniel T. Valentine, Essential MATLAB for engineers and scientists(3/e), Elsevier Inc, 2006.
3. 이장우·진치섭, 이공계 연구자를 위한 벡터 및 텐서 해석의 기초와 응용, 부산대학교출판부, 1998
4. 황종선, 고체 추진기관의 내탄도 해석에 관한 연구, 충남대학교 대학원 석사학위논문, 1994