

CUDA를 이용한 적층 복합재 구조물 코너 부의 자동 구조 해석 소프트웨어의 처리 속도 향상

현주하¹, 강문혜², 문용호³, 하석운^{3*}

¹경상대학교 항공우주특성화대학원 학생, ²경상대학교 항공우주및소프트웨어공학전공 강사,

³경상대학교 항공우주및소프트웨어공학전공 및 공학연구원 교수

Processing Speed Improvement of Software for Automatic Corner Radius Analysis of Laminate Composite using CUDA

Ju-Ha Hyeon¹, Moon-Hyae Kang², Yong-Ho Moon³, Seok-Wun Ha^{3*}

¹Student, Graduate School of Specialized Aerospace Engineering

²Lecturer, Department of Aerospace and Software, Gyeongsang National University

³Professor, Department of Aerospace and Software and ERI, Gyeongsang National University

요 약 최근 항공 관련 산업이 활성화됨에 따라 복합재 해석 소프트웨어의 범용화가 요구되고 있다. 지금까지는 복합재 해석에 상용 소프트웨어를 주로 사용해 왔으나 고가의 가격과 제한적인 기능으로 인해 사용에 어려움을 겪어왔다. 이런 문제를 해결하기 위해 해석 절차를 모두 온라인화하고 범용화한 면내 및 코너 부의 파손 자동 해석 소프트웨어가 최근에 개발되었다. 그러나 이들은 다중의 파손 기준으로 동시에 해석할 수 없는 단점이 있었다. 본 논문에서는 CUDA 코어를 장착한 GPU에서만 동작하는 병렬 처리 플랫폼을 이용하여 다중의 파손 기준에 대한 해석을 동시에 처리하면서 처리 속도를 획기적으로 향상시키는 방법을 제안한다. 방대한 구조물 데이터에 대해서 해석 처리 속도를 실험하였을 때 만족할 만한 결과를 얻었다.

주제어 : 복합재, 코너 부, 구조 해석, 다중 파손 기준, 고속, 자동화 소프트웨어

Abstract As aerospace industry has been activated recently, it is required to commercialize composite analysis software. Until now, commercial software has been mainly used for analyzing composites, but it has been difficult to use due to high price and limited functions. In order to solve this problem, automatic analysis software for both in-plane and corner radius strength, which are all made on-line and generalized, has recently been developed. However, these have the disadvantage that they can not be analyzed simultaneously with multiple failure criteria. In this paper, we propose a method to greatly improve the processing speed while simultaneously handling the analysis of multiple failure criteria using a parallel processing platform that only works with a GPU equipped with a CUDA core. We have obtained satisfactory results when the analysis speed is experimented on the vast structure data.

Key Words : Composite, Corner radius, Structure analysis, Multiple breakdown criteria, High speed, Automation software

*Corresponding Author : Seok-Wun Ha(swha0197@gmail.com)

Received June 19, 2019

Revised July 8, 2019

Accepted July 20, 2019

Published July 28, 2019

1. 서론

복합재는 금속 재료에 비해 가벼우면서도 높은 비강도, 비강성의 특성을 지닌 소재로서 자동차, 조선, 해양 플랜트 등 다양한 산업 분야에 널리 쓰이고 있다[1]. 특히, 항공기 개발에 있어 중요한 요구사항중 하나인 기체 경량화를 위해서는 복합재를 이용한 항공기 구조물 제작이 필수적으로 요구된다. 이러한 이유로 차세대 전투기 개발 사업, 헬기 개발 사업, 무인기 개발 사업 등의 대규모 항공관련 연구 개발 사업에 있어서 복합재의 활용과 관련 기술 개발은 중요한 역할을 담당할 것으로 전망되며, 기술의 선진화를 위해 소프트웨어 기술의 현장 접목이 필연적으로 요구되고 있다 [2-5].

현재 항공 관련 산업체에서는 복합재 구조 해석에 Patran/Nastran, ABAQUS 등과 같은 상용 소프트웨어를 사용하고 있다[6-8]. 그러나 이들 상용 소프트웨어는 제한적인 파손 모드를 제공하고 있기 때문에 안전성 검증에 한계를 지닌다. 또한 고가의 라이선스 비용으로 인하여 사용이 손쉽지 않은 문제를 안고 있다. 이를 극복하기 위하여 최근에 복합재 구조 해석을 위한 자동화 소프트웨어 개발에 관한 연구가 수행되었으며, 이 연구는 면내 구조물 해석에 국한되어 다양한 구조물 해석을 필요로 하는 산업체에서 사용하기에는 효과적이지 못한 단점이 있었다. 항공기 날개 스파(Spar) 구조물에서 코너 부는 가장 취약한 부분으로서 정확한 구조 해석 및 시험 평가가 요구되는 매우 중요한 부분이다. 그러나 구조 해석을 위해 실제 복합재 구조물을 제작하고 코너 부 시편을 채취하여 구조 해석 및 시험 평가를 진행하는 기존 방식은 처리과정이 온라인화 되지 못하여 많은 인적 자원과 시간이 소비되어 왔으며[10,11], 이를 해결하기 위해 최근에 개발된 면 내 구조물 자동 해석 소프트웨어[12]에 코너 부 해석을 추가하는 연구가 이루어졌다. 그러나 이 자동 해석 소프트웨어는 단일의 파손 기준에 대해서만 해석할 수 있으며 방대한 시험 자료에 대한 해석에는 처리 시간이 오래 걸리는 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 CUDA(Computed Unified Device Architecture) 코어를 장착한 GPU(Graphic Processing Unit)에서만 동작하는 병렬 처리 플랫폼을 이용하여 다중의 파손 기준에 대한 해석을 동시에 처리하면서 또한 처리 속도를 크게 향상시켜 처리 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 2장에서는 코너 부 구조 해석 방법, 3장에서는 자동 해석 소프트웨어 구조, 4장에서는 CUDA를 이용한 자동 해석 소프트웨어의 처리 속도 개선 방법, 5장

에서는 실험 및 결과, 그리고 6장에서 결론을 맺을 것이다.

2. 코너 부 구조 해석

2.1 코너 부 구조

항공기의 날개는 다음 Fig. 1과 같은 구조를 가지고 있으며, 이 중에서 스파 구조물은 항공기 날개에 작용하는 양력, 항력, 그리고 항력 등의 외부 하중을 대부분 담당하는 핵심 구조물이다. 따라서 이러한 집중 하중을 견디기 위해서 Fig. 2와 같이 I자 형태로 제작된다.

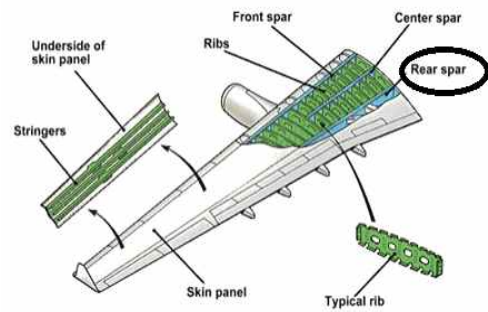


Fig. 1. Wing structure of aircraft



Fig. 2. Structure of I-shaped rear spar

Fig. 2와 같은 I자 형태의 스파는 굽힘이나 비틀림을 일으키는 하중이 작용하면 상대적으로 취약한 코너 부에서 가장 먼저 파손이 발생할 가능성이 높다. 따라서 코너 부의 정확한 구조 해석 및 시험 평가는 항공기 날개 구조물의 전체 안정성 검증에 있어 매우 중요한 영역을 차지한다.

2.2 코너 부 구조 해석

2.2.1 구조 해석 과정

Fig. 3은 복합재의 구조 해석을 수행하는 과정을 나타내었다. 먼저 시편 실험을 통해서 얻은 복합 소재의 물성 값을

입력한다. 이 소재를 활용하여 가장 기본이 되는 적층을 수행하는데 각 층별로 소재를 선택하고 소재가 적층되는 각도를 정해야 한다. 다음으로는 코너의 경우에 곡률 부위의 각도, 내부 반지름과 같은 값을 사용하여 형상을 정의한다. 이후에 정의된 형상에 코너 부 해석에 적합한 하중을 인가한다. 그런 다음, 각 형상에 맞는 보정 값들과 파손 기준(failure criteria)을 정하고, 최종적으로 파손 기준을 근거로 안전 여유를 계산한다.

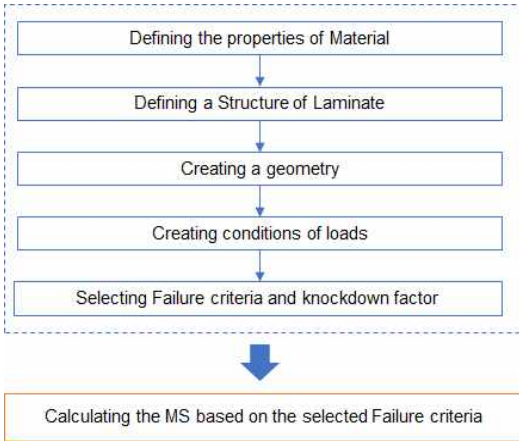


Fig. 3. Analysis step of a composite

Fig. 4는 하중이 인가된 이후에 코너 부의 파손 상태를 해석하기 위한 라디우스(radius) 차트이며, 파손 해석할 섹션과 각도, 반경 등을 보여주고 있다.

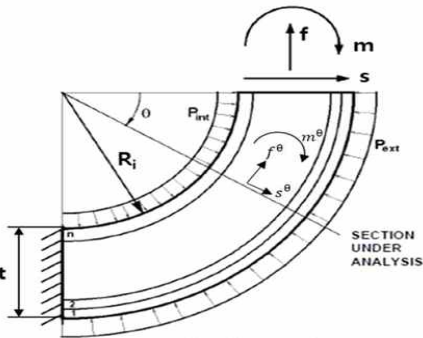


Fig. 4. Corner Radius Chart

파손 해석은 먼저 유한 요소 분석을 통해 각 섹션 부위에 인가된 하중을 계산하고, 이후에 각 부위별로 면 외 파손에 대한 안전율을 계산한다. 계산된 안전율 중에서 가장 작은 값이 해당 구조물의 최종 안전여유로 결정된다.

2.2.2 하중 계산

θ 각이 90° 인 경우와 아닌 경우의 하중 계산식은 다르게 적용되며, θ 각이 90° 인 경우는 다음 식으로 계산된다.

$$R_o = R_i + t \tag{1}$$

$$R_{med} = \frac{R_i + R_o}{2} \tag{2}$$

$$C = P_{int} * R_i - P_{ext} * R_o \tag{3}$$

$$f^\theta = f^* \cos\theta + s^* \sin\theta + C^*(1 - \cos\theta) \tag{4}$$

$$s^\theta = s^* \cos\theta - f^* \sin\theta + C^* \sin\theta \tag{5}$$

$$m^\theta = m + R_{med} * (s^* \sin\theta - f^*(1 - \cos\theta) + C^*(1 - \cos\theta)) \tag{6}$$

θ 각이 90° 가 아닌 경우는 다음 식으로 계산된다.

$$f^\theta = f^* \cos\theta - s^* \sin\theta + C^*(1 - \cos\theta) \tag{7}$$

$$s^\theta = s^* \cos\theta + f^* \sin\theta - C^* \sin\theta \tag{8}$$

$$m^\theta = m - R_{med} * (s^* \sin\theta + f^*(1 - \cos\theta) - C^*(1 - \cos\theta)) \tag{9}$$

여기서 식 (1)의 R_o 는 Outer Radius, R_i 는 Inner Radius, t 는 Thickness, 식 (3)의 P_{int} 는 External Pressure from Inside, P_{ext} 는 External Pressure from Outside, 식 (4)와 (7)의 f^θ 는 θ 각 위치에서의 Normal Flux Load, 식 (5)와 (8)의 s^θ 는 θ 각 위치에서의 Shear Flux Load, 식 (6)과 (9)의 m^θ 는 θ 각 위치에서의 Moment Flux Load이다.

2.3 안전 여유 계산

코너 부 구조 해석의 최종 과정은 안전 기준을 기반으로 안전여유 MS를 계산하는 것이다. 코너 부 구조 해석의 안전 기준에는 대표적으로 Kim-Soni[13] 기준과 Chang-Springer[14] 기준이 있다.

2.3.1 Kim-Soni 기준 안전여유 계산

Kim-Soni 파손 기준을 기반으로 코너 부의 안전여유를 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$f_{13}(\theta) = -\frac{3}{2} * \frac{s^\theta}{t} \quad (10)$$

$$f_3(\theta) = \frac{3}{2} * \frac{m^\theta}{t * \sqrt{R_i * R_o}} \quad (11)$$

$$a = \left[\frac{f_3(\theta)^2}{F_{33t} * F_{33c}} + \left(\frac{f_{13}(\theta)}{F_{13}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

$$f_{13}(\theta) = -\frac{3}{2} * \frac{s^\theta}{t} \quad (10)$$

$$f_3(\theta) = \frac{3}{2} * \frac{m^\theta}{t * \sqrt{R_i * R_o}} \quad (11)$$

$$a = \left[\frac{f_3(\theta)^2}{F_{33t} * F_{33c}} + \left(\frac{f_{13}(\theta)}{F_{13}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

$$b = \left(\frac{1}{F_{33t}} - \frac{1}{F_{33c}} \right) * f_3(\theta) \quad (13)$$

$$RF = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4a}}{2a} \quad (14)$$

$$MS = RF * C_{EN} * C_{B-val} - 1 \quad (15)$$

여기서 식 (10)의 $f_{13}(\theta)$ 는 Applied Shear Stress, 식 (11)의 $f_3(\theta)$ 는 Applied Radial Stress, 식 (12)의 F_{33t} 는 Allowable Thought the Thickness Tension Strength, F_{33c} 는 Allowable Thought the Thickness Compressive Strength, F_{13} 는 Allowable Inter-laminar Shear Strength, 식 (15)의 MS 는 Margin of Safety, C_{EN} 는 Environmental Knock-down Factor, C_{B-val} 는 Knock-down Factor for B-Basic Material Properties이다.

2.3.2 Chang-Springer 기준 안전여유 계산

Chang-Springer 파손 기준을 기반으로 코너 부의 안전여유를 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$f_3(\theta) > 0 \text{의 경우} \\ e = \sqrt{\left(\frac{f_3(\theta)}{F_{33t}} \right)^2 + \left(\frac{f_{13}(\theta)}{F_{13}} \right)^2} \quad (16)$$

$$f_3(\theta) < 0 \text{의 경우} \\ e = \sqrt{\left(\frac{f_{13}(\theta)}{F_{13}} \right)^2} \quad (17)$$

$$MS = \frac{1}{e} * C_{EN} * C_{B-val} - 1 \quad (18)$$

여기서 식 (16)의 e 는 Chang-Springer Poly-nominal Value이다.

3. 자동 구조 해석 소프트웨어

Jung 등[9]에 의해 개발되고, Hyeon 등에 의해 코너 부 해석이 추가된 자동 구조 해석 소프트웨어는 다음과 같은 국제 기준의 요구 사항을 기반으로 Fig. 5와 같은 GUI와 Fig. 6과 같은 구조로 구성되었다[12].

- 신뢰성 있고 표준화된 구조해석 절차
- 구조해석 절차 간 연동성 확보
- 사용자 친화적인 GUI 구성
- 가시성과 판독성이 좋은 그래픽 뷰어

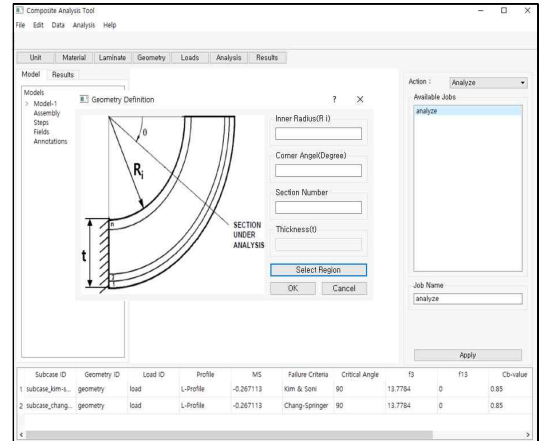


Fig. 5. GUI viewer of the developed Software

최근에 개발된 Fig. 6과 같은 구조를 가지는 이 자동 구조 해석 소프트웨어는 단일의 파손 기준에 대해서만 해석할 수 있으며 여러 기준의 해석 결과를 얻기 위해서는 각각 해석 과정을 수행해야 하는 불편함이 있으며, 방대한 시험 자료에 대한 해석에는 처리 시간이 오래 걸리는 문제를 가지고 있다. 본 연구에서는 CUDA 코어를 장착한 GPU에서만 동작하는 병렬 처리 플랫폼을 이용하여 다중의 파손 기준에 대한 해석을 동시에 처리하면서 또한 처리 속도를 크게 향상시켜 처리 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 방법을 구현하였다.

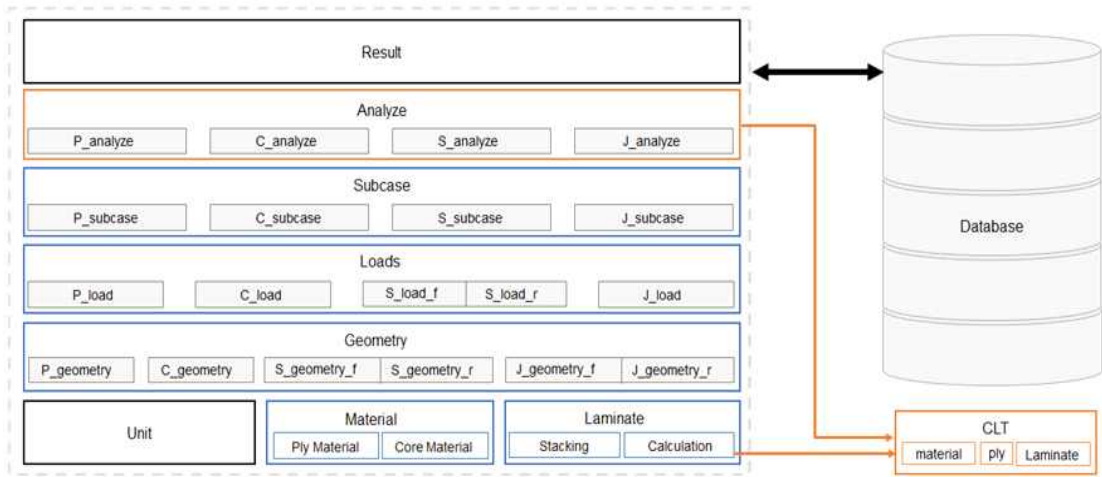


Fig. 6. Architecture of the developed Software

4. CUDA 기반의 구조 해석 시스템

CUDA(Compute Unified Device Architecture)는 그래픽 처리 장치(GPU)에서 수행하는 병렬처리 알고리즘을 C와 같은 표준 프로그래밍 언어로 작성할 수 있도록 해 주는 기술로서 여러 분야의 산업 현장에서 널리 사용되고 있다[15]. CUDA 코어는 Nvidia에서 개발하고 제작되고 있으며, 이 코어가 장착된 GPU에서만 동작되는 병렬처리 플랫폼 및 API 모델이다[16]. CUDA는 다른 병렬 처리 기법과 비교하여 추상화 수준이 높고 하드웨어 제조사와 소프트웨어 개발사가 동일한 이점을 살려 소프트웨어가 하드웨어에 직접 액세스하여 컨트롤 할 수 있도록 함으로써 하드웨어의 성능을 극한까지 끌어 낼 수 있게 했다. Fig. 7은 CUDA를 이용하여 코너 부 구조 해석을 수행하기 위해 설계한 구조 해석 시스템의 구성도이다. 크게 호스트 영역과 디바이스 영역으로 나누어 구현하였으며, 해석 과정은 다음과 같은 절차로 진행된다.

1. GPU(CUDA)는 DB로부터 구조해석을 위한 구조 데이터셋을 가져와서 스트림으로 불러들인다.
2. 데이터셋의 크기에 맞추어서 n개의 블록에 할당하고, 데이터셋 내의 스칼라형 변수는 레지스터에, 벡터형 변수는 로컬메모리에 할당한다.
3. 할당된 변수들을 각 스레드가 파싱하여 안전을 계산 수행한다. 수행된 안전율은 공유메모리에 저장되고, 스트림을 통해 CPU로 전송된다.

4. CPU에서는 계산된 안전율들 중에서 가장 작은 값의 안전율을 선정한다.

전체적으로는 호스트영역과 디바이스 영역의 처리로 나눌 수 있으며, 이들 각각의 영역에 대한 세부적인 처리는 다음 절에서 나타내었다.

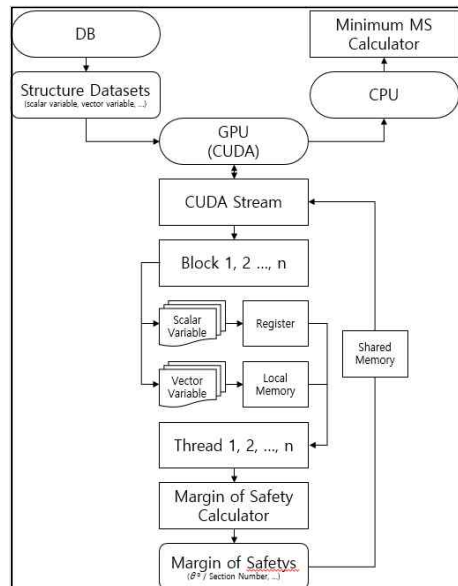


Fig. 7. Architecture of the analysis system using CUDA

4.1 호스트 영역

DB에는 하중 계산에 필요한 각종 변수들이 하나의 라인

이 하나의 구조물인 테이블 형태로 저장되어 있다. 구조 해석을 위해 디바이스, 즉 GPU에 변수들이 전송될 때 스칼라 형태의 변수는 레지스터, 벡터 형태의 개별 변수는 지역 메모리, 벡터 형태의 공용 변수는 공유 메모리에 할당된다. GPU의 전역 메모리에 구조물의 θ 각 별 안전율이 계산되어 모이면 CPU로 전송되며 CPU는 최소 안전율을 계산하여 해당 구조물의 가장 취약한 부분을 찾고 결과를 소프트웨어의 하단에 출력한다. 최소 안전율을 CPU에서 찾는 것은 의존성이 있는 데이터의 처리는 GPU에선 효율이 CPU보다 낮기 때문이다.

4.2 디바이스 영역

GPU의 병렬 처리는 그리드, 블록, 스레드 단위로 매핑되어 수행되는데 워크에 맞춰 이를 적절하게 매핑하는 것이 곧 CUDA를 이용한 처리 속도 향상으로 이어지므로 매우 중요하다. 스레드는 실질적인 워크 처리를 담당하는 부분으로 하나의 블록 내에 다수가 존재한다. 같은 블록 내의 스레드끼리만 공유 메모리를 사용할 수 있으며 블록 외부의 전역 메모리를 사용하면 다른 블록의 공유 메모리도 사용이 가능하지만 이는 처리 성능 저하를 가져온다.

코너 부 구조 해석은 구조물의 θ 각을 사용자가 입력한 Section Number의 단위로 잘라 잘린 각도 별로 각각의 안전율을 계산하지만 결국 하나의 구조물이므로 공통적으로 사용하는 변수도 많다. 따라서 공유 메모리에 해당 변수를 할당하면 메모리 액세스 측면에서 성능 향상을 기대할 수 있다. 공유 메모리는 블록 내의 스레드만 사용할 수 있으므로 하나의 블록에 하나의 구조물을 매핑하고 Section Number에 따른 각도 별 안전율 계산을 스레드에 매핑하였다.

추가적으로 처리 성능 향상을 위해 CUDA스트림을 적용하였다. 스트림은 CUDA의 약점인 다수의 데이터를 GPU에 할당할 때 소비되는 많은 시간 중에 계산에 필요한 최소의 데이터가 할당되면 동시에 계산도 수행하도록 하는 기법이다[14]. DB에서 모든 변수들이 GPU로 할당될 때까지 기다리지 않고 우선적으로 필요한 변수가 할당되면 구조 해석을 진행하도록 하였다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 구조 해석 소프트웨어의 처리 속도 성능을 검증하기 위하여 Table 1과 같은 환경에서 실험

을 수행하였다.

Fig. 8은 천 개에서 십만 개까지의 구조물이 입력된 DB를 기반으로 CUDA를 사용하지 않은 코너 부 구조 해석 자동화 소프트웨어(CPU)와 CUDA를 사용한 소프트웨어(GPU)의 Kim-Soni기반 구조 해석 처리 속도를 비교한 결과이다.

Table 1. Experimental Environment

OS	Windows 10 (64bit)
CPU	Intel i5-3570 3.40Ghz
RAM	16GB DDR3
GPU	Nvidia GTX 970 4G
HDD	Intel SSD 520

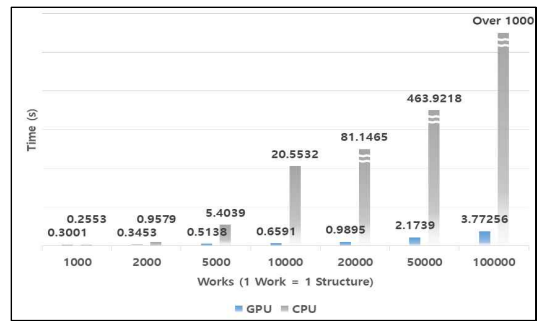


Fig. 8. Results of analysis time by Kim-Soni criterion

Fig. 8에서 워크가 천 이하일 땐 CPU가 GPU의 데이터 할당에 따른 시간 소비로 인해 근소하게 우수하지만, 만 이상으로 워크가 늘어나면 CPU의 처리 시간은 기하급수적으로 증가한다. 그에 반해 GPU는 산술적인 처리 시간 증가를 보여주며, 오만 워크 기준 CPU대비 20,136%의 처리 속도 향상을 보인다.

Fig. 9는 Fig. 8과 마찬가지로의 DB를 기반으로 CPU와 GPU의 Chang-Springer기반 구조 해석 처리 속도를 비교한 결과이다. Kim & Soni 대비 수식이 간단하여 전체적으로 처리 시간이 약간 줄었다.

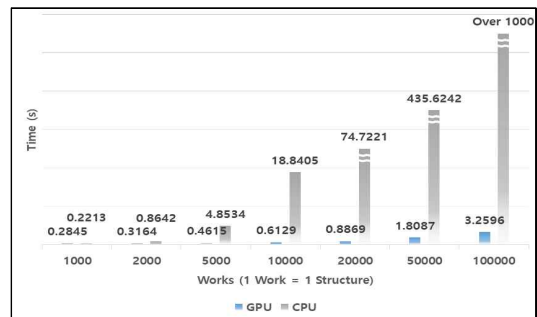


Fig. 9. Results of analysis time by Chang-Springer criterion

Fig. 10은 두 가지 파손 기준에 대한 처리 속도를 함께 비교하여 나타낸 것이다.

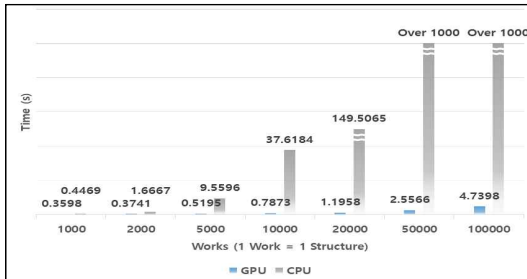


Fig. 10. Comparison results of analysis time based on two criteria

실험 결과, Fig. 11에 워크별 구조해석 방법들의 처리 시간을 종합적으로 비교하여 나타내었다.

Works (1 work = 1 structure)	Kim-Soni		Chang-Springer		Comparison	
	CPU (s)	GPU (s)	CPU	GPU	CPU	GPU
1,000	0.26	0.3	0.22	0.28	0.45	0.36
2,000	0.96	0.35	0.86	0.32	1.67	0.37
5,000	5.4	0.51	4.85	0.46	9.56	0.52
10,000	20.55	0.66	18.84	0.61	97.62	0.79
20,000	81.15	0.99	74.72	0.89	149.51	1.2
50,000	463.92	2.18	435.62	1.31	Over 1000	2.56
100,000	Over 1000	3.77	Over 1000	3.26	Over 1000	4.74

Fig. 11. Comparison results of analysis time by the proposed method

6. 결론

본 논문에서는 앞서 개발한 적층 복합재 구조물 코너 부 구조 해석 자동화 소프트웨어에 CUDA를 사용하여 처리 속도를 획기적으로 향상시켜 보다 개선된 코너 부 구조 해석을 수행할 수 있도록 하고 이를 검증하였다. 제한된 파손 기준만을 지원하는 기존 상용 프로그램을 활용한 현재의 구조 해석은 상용 프로그램의 한계로 인해 결과의 재가공 및 추가적인 구조 해석이 필요하여 다수의 인적 자원과 시간이 소비되었다. 앞선 연구에서 이를 신뢰성 있고 표준화 된 구조 해석 절차와 절차 간 연동성을 확보하고 사용자 친화적인 환경을 갖춰 가시성과 판독성을 높이며 처리 속도를 향상시킨 자동화 소프트웨어를 개발하여 인적 자원과 시간 소비를 줄였으며, 또한 이번 연구에서는 복수의 파손 기준을 동시에 적용하여 다수 구조물의 구조 해석을 진행하여도 단시간에 결과를 볼 수 있도록 하여 생산성과 효율성을 크

여기서 GPU를 사용하고 병렬처리를 행하였을 때, CPU로 처리한 경우에 비해, 2만 워크를 기준으로 할 경우, Kim & Soni 와 Chang & Springer 두 방식에서 약 7분에서 8분이 소요되지만, 제안하는 방법에서는 1초에서 2초 사이에 처리되는 획기적인 처리속도 향상 결과를 가져왔으며, 두 방식을 동시에 처리할 때는 약 2.5초 만에 처리되는 결과를 낳았다. 따라서 제안하는 방식을 사용할 경우, 처리 속도를 고려하지 않아도 될 정도를 성능을 발휘할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 두 파손 기준을 동시에 사용하여도 효율적인 구조 해석을 동시에 가능하게 되었으며, 더 많은 기준에 대해서도 동시 해석이 충분할 것으로 보인다. 이를 바탕으로 GUI에 사용자가 파손 기준을 선택하지 않으면 두 파손 기준을 동시에 사용하여 결과를 동시에 출력할 수 있도록 하는 기능을 추가하였다.

게 늘렸다. 적층 복합재 외에 다양한 형태가 존재하는 복합재에 대해서도 구조 해석 절차를 정의하고 이에 대한 개발 및 병렬 처리를 통한 처리 속도 향상을 꾀한다면 본 소프트웨어의 사용 범주를 확장할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] R. M. Jones. (1975). *Mechanics of Composite Materials Second Edition*. Philadelphia : Taylor & Francis.
- [2] H. Ryu & W. J. Lee. (2012). A Study on UML based Modeling and Automatic Code Generation for Embedded Software. *Journal of Convergence for Information Technology*, 2(1), 33-40.
- [3] B. H. Lim, S. W. Ha & Y. H. Moon. (2017). Development of Ground Control Software Platform for Industrial Application with Multiple small UAVs. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(5), 75-82.

DOI : 10.22156/cs4smb.2017.7.5.075

[4] H. S. Min. (2011). Deadlock Detection of Software System Using UML State Machine Diagram. *Journal of Convergence for Information Technology*, 1(1), 75-83.

[5] Y. S. Choi & J. E. Hong. (2017). Designing Software Architecture for Reusing Open Source Software. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(2), 67-76.
DOI : 10.22156/cs4smb.2017.7.2.067

[6] Dassault Systems. (2018). *Abaqus*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Abaqus>

[7] MSC Software Cooperation.(2018). *MSCNAastran*. <http://www.mssoftware.com/product/msc-nastran>

[8] ANSYS Discovery. (2018). *ANSYS*. <http://www.ansys.com>

[9] Y. J. Jung, S. Y. Choi, H. S. Ahn, S. W. Ha, and Y. H. Moon. (2017). Development of In-Plane Strength Analysis Software for Composite Laminated Structure with Parallel Processing Technique. *Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 1(1), 77-84.
DOI : 10.5139/jksas.2018.46.2.133

[10] N. Rahimi, M. A. Rahim, A. K. Hussain & J. Mahmud. (2012). Evaluation of Failure Criteria for Composite Plates Under Tension. *IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research*.

[11] S. E. Yamada & C. T. Sun. (1978). Analysis of Laminate Strength and Its Distribution. *Journal of Composite Materials*, 12(3), 275-284.
DOI : 10.1177/002199837801200305

[12] J. H. Hyeon, Y. H. Moon, & S. W. Ha. (2018). Development of Automation Software for Corner Radius Analysis of Composite Laminated Structure. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(3), 107-114.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.3.107

[13] R. Y. Kim & S. R. Soni. (1984). Experimental and Analytical Studies on the Onset of Delamination in Laminated Composites. *Journal of Composite Materials*, 18(1).
DOI : 10.1177/002199838401800106

[14] F. K. Chang & G. S. Springer. (1986). The Strengths of Fiber Reinforced Composite Bends. *Journal of Composite Materials*, 20(1).
DOI : 10.1177/002199838602000103

[15] NVIDIA. (2018). *Developer Zone : CUDA Toolkit Documentation*.

[16] J. Sanders & E. Kandrot. (2010). *CUDA by Example :*

An Introduction to General-Purpose GPU Programming. Addison-Wesley Professional.

현 주 하(Ju-Ha Hyeon)

[정회원]



- 2015년 2월 : 경상대학교 항공우주및 소프트웨어공학전공 (공학사)
- 2018년 2월 : 경상대학교 항공우주 특성화대학원 (공학석사)
- 2018년 5월 ~ 현재 : 경상대학교 항공우주특성화대학원 (박사과정)

· 관심분야 : 항공소프트웨어, 영상처리, VR 시스템
· E-Mail : hmx@gnu.ac.kr

강 문 혜(Moon-Hyae Kang)

[정회원]



- 2001년 2월 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (이학사)
- 2003년 2월 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (공학박사)
- 2014년 7월 ~ 현재 : 경상대학교 강사

· 관심분야 : 항공소프트웨어, 영상처리, VR 시스템
· E-Mail : hturtle@hanmail.net

문 용 호(Yong-Ho Moon)

[정회원]



- 1998년 8월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1998년 9월~2001년 8월 : 삼성전자 DM연구소 책임연구원
- 2012년 2월 : 미국 캘리포니아대학교 (UCSB) 방문 교수

· 2007년 7월 ~ 현재 : 경상대학교 항공우주및소프트웨어공학전공 교수
· 관심분야 : 영상처리, 항공전자, 가상/증강현실, SoC, 병렬처리, 임베디드시스템
· E-Mail : yhmoon5@gnu.ac.kr

하 석 운(Seok-Wun Ha)

[정회원]



- 1995년 8월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 2002년 2월 : 미국 캘리포니아대학교 (UCR) 방문 교수
- 1993년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 항공우주및소프트웨어공학전공 교수

· 관심분야 : 신호처리, 영상처리, 그래픽스, 신경망, 임베디드시스템
· E-Mail : swha@gnu.ac.kr