

論文

음향방출기법을 응용한 플라스틱 셸 구조물의 건전성 평가 연구

설창원\*, 이기범\*

Experimental Evaluation Study on the Integrity of Plastic Shell Structure using Acoustic Emission Technique

Chang-Won Shul\* and Kee-Bhum Lee\*

ABSTRACT

An acoustic emission technique is applied to the tensile tests of the plastic specimen under the different test speeds and the structural integrity evaluation of the plastic shell structure. Several AE characteristics are acquired from the tensile tests and they are proven to be useful parameters in evaluating its structural integrity. The results shows that tensile strength has almost constant value over some higher speed region while revealing some increasing tendency in strength as the test speeds up in lower speed region. The crack initiation loads and locations are accurately evaluated during the static compression testing of the plastic shell structures by using acoustic emission technique.

초 록

본 연구에서는 고속 충격환경을 경험하는 플라스틱 구조 소재에 대한 인장속도별 물성 평가 시험 및 구조건전성 평가에 음향방출 기법을 적용하였다. 인장속도별 물성 평가시험을 통하여 플라스틱 소재 구조물의 건전성 평가에 유용한 음향방출 신호 특성 인자들을 획득하였다. 인장속도에 따른 인장강도는 저속 인장속도 구간에서는 속도가 증가함에 따라 강도가 증가하는 특성을 보여주었으나 일정 속도 영역 이상의 고속 인장시험에서는 인장속도 증가와 무관하게 일정한 강도 값을 나타내었다. 정적 압축 구조시험에서는 음향방출 기법을 적용함으로써 플라스틱 셸 구조물의 균열발생 시점 및 위치 등을 정확히 평가할 수 있었다.

**Key Words :** Plastic Shell Structure(플라스틱 셸 구조), Compression Strength(압축강도), Structural Strength Test(구조강도시험), Acoustic Emission Technique(음향방출기법), Crack(균열), High Rate Tensile Test(고속인장시험)

1. 서 론

유도탄의 전방 센서를 보호하기 위해 부착된 플라스틱 셸 구조는 유도탄이 발사관 이탈 시 발

사관 덮개와 충돌로 인해 파괴되지 않아야 하고 유도탄 비행 중에는 형상을 유지하고 있다가 최종 입수와 동시에 완전히 파괴되어 어뢰가 안전하게 입수 후 정상 작동하도록 보호하는 기능을 한다.

이러한 고속 충격을 경험하는 플라스틱 셸 구조 소재에 대한 인장속도별 물성 평가 시험 및 구조건전성 평가에 음향방출(acoustic emission: AE)기법을 적용하였다. 기체 구조물의 구조건전

† 2005년 9월 26일 접수 ~ 2005년 11월 14일 심사완료

\* 정회원, 국방과학연구소 3-2-5

연락처, E-mail : shulcw@add.re.kr

대전시 유성구 유성우체국 사서함 35-3호

성을 평가하기 위한 구조시험(structural test)에는 전통적으로 내부의 변형을 측정하기 위한 스트레인게이지, 구조물의 강성변화에 따른 거시적인 변형을 평가하는 변위게이지 등이 사용되고 있다. 그러나 이러한 전통적인 계측 수단만을 이용해서는 실제 하중부가 중 내부에 발생하는 손상이나 균열 등을 평가하는 것이 매우 어려우며 그 정확성을 확신할 수 없다. 이러한 단점을 보완하고 시험 중 균열이 발생한 시점 및 위치를 정확히 평가하기 위하여 AE기법을 적용하였다.

AE는 고체 내에 저장되었던 탄성 변형 에너지가 급격히 방출될 때 발생하는 탄성파로 정의되고 있다. AE의 발생 원인은 재료 내의 전위와 관계가 있으며, 금속재료에서의 AE를 발생시키는 대표적인 현상으로는 균열의 발생과 성장, 재료의 변형 및 상 변태 등을 들 수 있다. 또한 복합재료의 경우에는 섬유 파괴, 기지 파괴, 섬유와 기지의 박리, 파괴시 섬유의 이완, 복합재 파손시 섬유의 뿔침 및 층간 분리 등의 파괴 양상이 있다. 복합재 구조물에 대한 파괴양상 연구 및 손상평가 등에 AE법을 응용한 연구가 많이 수행되고 있으나, 그에 반하여 본 플라스틱 소재에 대한 음향방출 응용사례 연구는 거의 없는 실정이다.

항공 우주 분야의 기체 구조물에 대한 AE기법의 응용은 Green과 Dunegan[1]이 초기에 많은 공헌을 하였으며, 특히 연구와 응용이 활발한 분야는 로켓 모터 케이스이다[2]. 그리고 항공 기체 구조물은 볼트, 패스너 및 플레이트 등의 복잡한 구조와 복합하중에 기인한 다양한 형태의 AE 신호의 발생원으로 인하여 복잡한 형태의 다양한 AE 신호를 발생한다. 이러한 AE신호는 내부의 균열발생이나, 치명적인 손상 등의 발생 시점을 나타내 주며, 위치표정(source location) 기법을 활용하여 결함이나 손상의 발생위치를 찾아내게 된다. 이러한 기법은 운용항공기에 대한 실시간 감시기법으로 적용되었으며, 항공기 구조에 대한 파괴역학 개념의 확대로 Fail-Safe 설계개념이 적용되면서 더 많은 분야에 활용되고 있다. 항공 구조물에 대한 피로시험 등에 AE기법이 적용되어 결함과 취약부위에 대한 탐지 등이 행해졌다[3-6].

국내에서도 구조건전성을 평가하기 위한 각종 구조시험에 AE기법이 적용되어[7-9] 균열 발생 위치나 시점 등을 평가하는 유용한 도구로 활용되고 있다.

본 연구에서는 고속충격환경에 적용되는 플라스틱 소재에 대한 인장 속도시험을 통해서 인장 속도에 따른 기계적 물성을 평가하고, AE 신호

의 특성을 파악하며 구조물에 대한 정적 압축강도 시험 중에 AE기법에 의한 균열 발생 위치 및 시점을 평가하고자 한다.

## II. 시험설계

### 2.1 시험시편

시험에 사용된 소재는 Polycarbonate(Glass filled 10~30%)재질로서 Starex ABS HF-0660이며 기계적 물성의 자료는 Table 1에 제시된 바와 같다.

Table 1. Material Properties of Starex ABS HF-0660I

구분	규격 (ASTM)	시험사양	단위	물성치
인장강도	D638	5mm/min	MPa	46
연신율	D638	5mm/min	%	29
휨강도	D790	2.8mm/min	MPa	66
휨계수	D790	2.8mm/min	MPa	2,180
Izod 충격강도	D256	1/4 inch	kg.cm/cm	19
		1/8 inch	kg.cm/cm	27
로크웰경도	D785	R-scale	-	104

### 2.2 인장속도시험

고속충돌환경에서의 플라스틱 소재의 기계적 거동을 이해하기 위해서 낮은 속도레벨부터 고속 인장시험 영역까지 인장속도에 따른 기계적 물성의 변화를 확인하여야 하며, 그 결과를 바탕으로 정적 해석 및 시험결과와 동적 충돌환경에 대한 해석결과 등을 분석할 수 있는 기초 시험결과 자료가 제공되어야 한다. 고속인장시험에 적절한 형태인 봉 인장시편이 사용되어 플라스틱 소재에 대한 인장 속도에 따른 인장강도의 변화를 확인하고, 플라스틱 소재에 대한 AE 신호의 특성을 파악함으로써 플라스틱 셀 구조물에 대한 실제 정적 시험에서 사용할 적절한 센서를 선정하고, 균열 현상을 해석하는 기본 분석 자료로 활용코자 한다.

시험절차 및 시편의 규격은 일반적인 인장시험의 규격인 ASTM D683에 준하여 결정하였으며, 시편은 나사 고정형 인장 시편을 사용하였다.

인장 속도시험에는 일반적인 재료시험기와 MTS사의 유압식 고속 인장시험기가 사용되었다. 본 시험실의 재료시험기는 시험기의 반응 속도를 빠르게 하기 위하여 이중 서보 밸브(dual-servo valve) 시스템을 사용함으로써 0.1m/sec 정도까

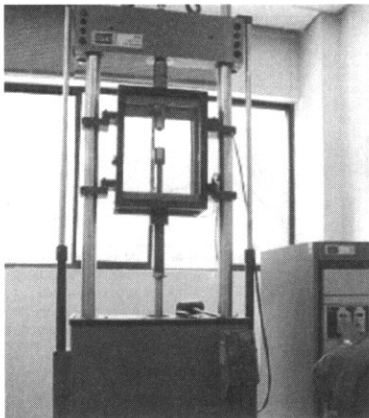


Fig. 1. MTS 819 High Rate Testing System

지 시험을 구현할 수 가 있으며, MTS 819 고속 인장 시험기(Fig. 1)는 0.1m/sec 이상 20m/sec 까지 인장 속도시험이 가능한 시험기이다. AE 시험 장비로는 PAC사의 Spartan2000에 사용되었다. 그밖에도 자료를 획득하기 위한 장비로는 MM사의 System5000이 사용되었고, 디지털오실로스코프를 사용하여 AE신호의 파형을 관찰하였다.

2.3 플라스틱 셸 구조물 압축강도시험

유도탄의 두부에 부착된 전방 센서 보호용 플라스틱 셸 구조는 유도탄이 발사관 이탈 시 발사관 전방 덮개와 충돌로 인해 파괴되지 않아야 하고 유도탄 비행 중에는 형상을 유지하고 있다가 최종 입수와 동시에 완전히 파괴되어 여리가 안전하게 입수 후 정상 작동하도록 보호하는 기능

Table 2. AE Sensor Information

센서 ID	채널 ID	센서 종류	부착 위치	Location Group	Remark
AE1	ch19	R6	150mm	1	Nose Tip에서 거리
AE2	ch20	R6	390mm	1	
AE3	ch21	R6	150mm	2	
AE4	ch23	R6	390mm	2	
AE5	ch24	R6	150mm	3	
AE6	ch26	R6	390mm	3	
AE7	ch27	R6	150mm	4	
AE8	ch28	R6	390mm	4	
AE9	ch29	R6	150mm	5	
AE10	ch30	R6	390mm	5	
AE11	ch31	R6	150mm	6	
AE12	ch32	R6	390mm	6	
AE13	ch33	R6	150mm	7	
AE14	ch34	R6	390mm	7	
AE15	ch35	R6	150mm	8	
AE16	ch36	R6	390mm	8	

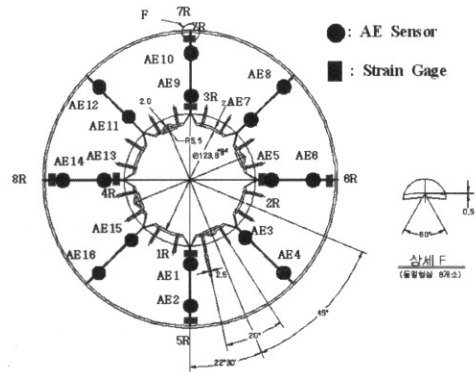


Fig. 2. Strain Gauge and AE Sensor Location

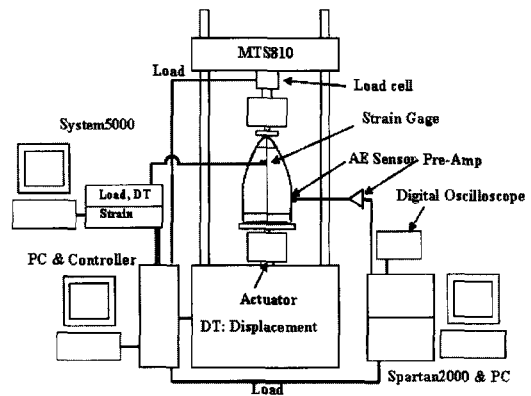


Fig. 3. Schematic diagram of test setup

을 한다. 플라스틱 셸 구조의 기능을 충족하기 위해서 45°간격으로 노치선들이 가공되어 있다. 그러므로 균열은 최종적으로 노치선들을 따라 생성 될 것이므로 압축하중 대비 변형률의 거동은 90° 간격의 노치선들을 따라 부착한 총 8개의 스트레인 게이지로 확인하고, 45°간격의 모든 노치선들을 따라서는 Fig. 2와 Table 2와 같이 AE 센서를 부착하였다. AE센서는 상단으로부터 150mm지점과 390mm에 부착하여 하나의 노치선들에 각각 1개의 AE 그룹이 되도록 하였다. AE 신호의 발생위치도 이러한 노치선들을 따라 발생하므로 선형위치 표정 방법만을 적용하여 AE신호의 발생위치 및 하중을 확인 하도록 하였다.

Fig. 3은 시험개념도를 나타내고 있다. 시험은 노치의 깊이가 1.75mm인 1차 시제3조와 0.75mm인 2차 시제 3조 등 총 6조에 대하여 압축강도시험을 수행하였다. 시험 전에 연필심 파단(pencil break) 기법을 사용하여 AE센서에 대하여 교정을 마쳤으며, 적절한 신호 문턱 값(threshold level) 및 증폭 값(gain)을 설정하였다.

### III. 시험결과 및 분석

#### 3.1 인장속도시험 결과

인장 속도시험은 일반 재료시험기를 사용한  $8.3 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ 로부터 고속 인장시험기를 사용한  $4.7 \text{m/sec}$ 까지 실시되었으며,  $0.063 \text{m/sec}$ 까지는 변형률계(extensometer)를 사용하여 응력과 변형률의 관계를 확인하면서 시험이 실시되었다. 또한 AE신호의 특성을 평가하기 위하여 AE센서를 사용하여 신호의 특성을 평가하였다.

고속 인장 시험기에서는 하중을 측정하기 위하여 로드와셔(load washer)형의 하중 변환계(load transducer)를 사용하는데, 고속 인장 중에 최종 부하가 작동하기 전에 이동하는 슬랙 어댑터(slack adapter) 및 그립(grip) 등의 영향으로 관성

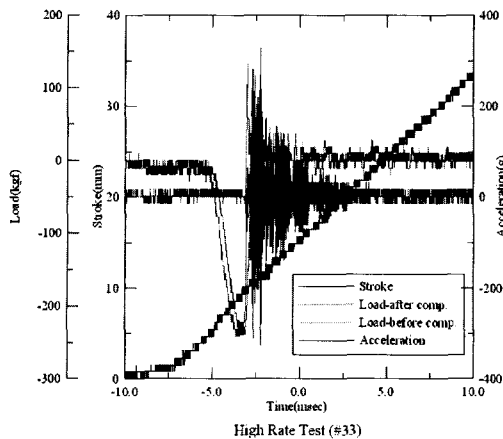


Fig. 4. High Rate Testing Data

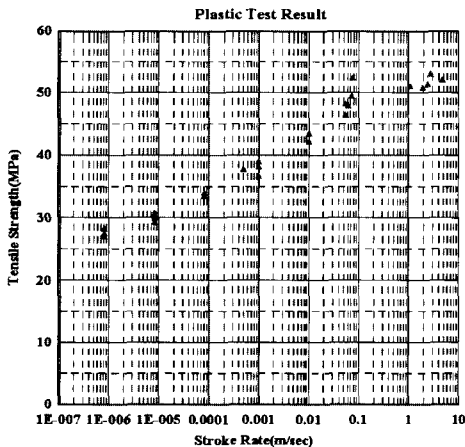


Fig. 5. Tensile Strength Results corresponding Stroke rate

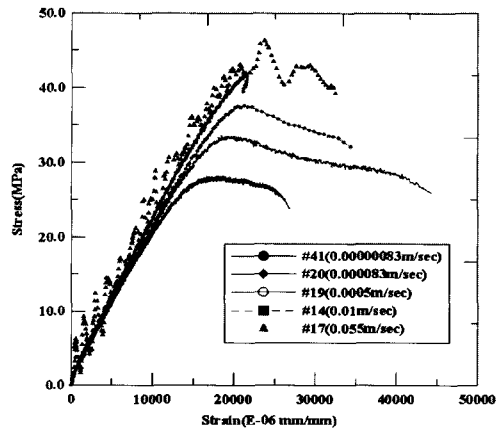


Fig. 6. Stress-Strain Behavior corresponding Stroke Rate

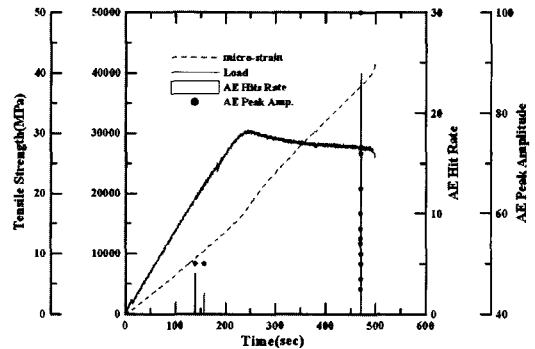


Fig. 7. AE Parameter Distribution and Correlation

(inertia)이 하중센서의 값에 영향을 미친다. 무부하 시 측정된 로드와셔와 가속도계는 동일한 측정값을 보여준다. 그러므로 하중을 부가하는 고속 시험인 경우에는 관성의 영향이 하중 변환계에 영향을 미치게 되므로 시험장비의 회로상에서 이러한 영향이 보정되도록 되어 있으며, Fig. 4는 고속인장시험 시 얻어진 하중, 가속도 및 스트로크(stroke) 측정결과를 보여주고 있다.

인장속도시험 결과는 Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 인장강도는 인장속도  $8.3 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ 로부터  $0.01 \text{m/sec}$  구간에서  $27.5 \text{MPa} \sim 42.2 \text{MPa}$ 로 증가 하는 특성을 보여 주었다. 이 구간에서 인장속도에 따른 응력과 변형률의 거동은 Fig. 6에 보여주는 바와 같은데 속도가 증가할수록 동적 효과가 나타남을 알 수 있다. 고속인장 시험 구간인  $0.06 \text{m/sec}$  이상의 속도에서는 크게 증가하지 않고  $5 \text{m/sec}$  정도의 속도까지는  $48 \text{MPa} \sim 52 \text{MPa}$ 를 나타내었다.

플라스틱 셸 구조부에 대한 정적압축 시험에

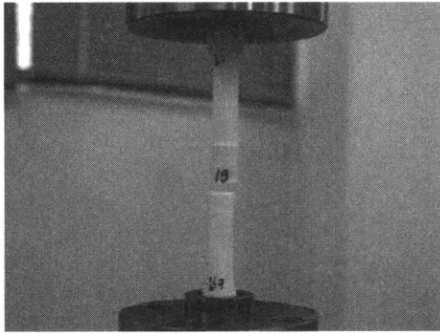


Fig. 8. Failure Shape of Specimen

AE 시험기법을 적용하기에 앞서 소재의 하중 이력에 따른 AE 신호의 특성을 사전에 평가하고자 붕 시험 인장 속도시험에 AE센서를 부착하여 하중 이력에 따른 AE의 활성도(activity)를 평가하였다. AE시험 결과 본 플라스틱 재료는 매우 적은양의 AE만 발생 시키며, 일반적 금속 시험과 달리 소재의 뎀핑 특성이 매우 뛰어나고 신호 감쇄가 크게 나타나 기계적 잡음이 AE 신호에 전혀 영향을 미치지 않았다. Fig. 7은 시험결과 자료 중 0.5m/min 속도에서의 하중, 스트레인 및 AE 매개변수(최대진폭(peak amplitude) 과 AE 사상수 율(Hits Rate))와의 관계를 보여주고 있다. AE 신호는 선형 구간에서 약간 발생한 후에 최종 파단시에 급격한 AE 신호가 발생하였다.

이상의 인장시험 중에 나타난 AE 활성도를 바탕으로 셸 구조의 압축 강도시험 중에 AE 측정에는 소재의 뎀핑 특성에 의한 신호의 감쇄를 고려하여 20kHz - 100kHz의 공진형 센서를 사용하는 것이 타당하며, 심각한 균열 등의 활성도가 나타나기 전에는 거의 AE 활성도가 나타나지 않을 것으로 예측되어 구조 시험 시 균열 발생의 판단에 대한 보조 수단으로 충분히 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 플라스틱 소재에 대한 파괴 기구를 살펴보면 급격한 취성 파괴의 모습은 보이지 않고, 인장응력이 발생할 때 입자 내부에 캐비테이션이 발생하고, 이 캐비테이션이 빛이 산란 현상에 의해 하얀빛(white zone)을 띤 흰색변형의 손상영역으로 보인다[10]. Fig. 8에서 보는 바와 같이 시험편은 하중을 받으면서 내부 변형에 의해 캐비테이션이 확대되면서 하얀빛을 띠는 손상영역이 띠 처럼 보이게 되는데 최종 파단은 이들 중에서 발생하게 된다.

### 3.2 플라스틱 셸 구조물 압축강도시험 결과

플라스틱 셸 구조부에 대한 압축 강도시험은

모두 2차에 걸쳐서 총 6조의 시험편에 대해서 실시되었다. 플라스틱 구조는 두께 2.75mm로서 45°간격으로 8줄의 노치선들이 있으며, 1차 시험에 적용된 시험편들은 1.75mm의 노치 깊이를 2차 시험에 적용된 시험편들은 0.75mm의 노치 깊이를 가지고 있다.

1차 3조 시제품에 대한 압축강도시험 결과 스트레인 및 변위의 거동으로는 균열 발생을 평가할 수 없었다. 특히 플라스틱 셸 구조의 특성상 노치선들에 균열이 발생하여도 최종 파단 될 때까지 대나무 구조처럼 압축에는 충분한 강도를 유지하였다. 균열발생과 AE 활성도사이에는 깊은 연관성을 보였으며, 특히 초기 결함을 가진 불량 시험편을 제외하면 600kgf이상에서 AE 활성도가 나타나기 시작했고, 내부균열과 관련 있는 하얀빛이 외부로 나타나지 않고 645kgf부터 곧바로 외부로 균열이 드러났다. 이것은 시험편 시험에서 관찰된 현상과는 달리 노치의 깊이가 1.75mm로 너무 깊고 상대적으로 남아있는 두께가 1mm정도 밖에 되지 않아 균열생성 임계 하중에서 갑자기 외부로 균열이 발전한 것으로 판단된다. 또한, 균열의 거동은 미소 균열이 관찰된 후 급격히 균열이 진전될 때까지 선형적 거동을 나타내었고, 외부에 상당수의 균열이 생성된 경우에도 압축 변위는 최종 파단 시까지 안정적인 거동을 보였다. Table 3은 1차 시험 중 균열발생 하중 및 파단하중을 나타내고 있다.

Table 3. AE Activities and Load of 1st Test

구 분	AE 활성도 시작	흰색변형 발생	균열 외부 노출	파단하중	
1차 시험	No.1	630kgf	-	630kgf	1232kgf
	No.2	612kgf	-	645kgf	1245kgf
	No.3	250kgf	300kgf 균열성장	초기균열 존재	1200kgf

최종 파단(약 1200kgf 이상)하중 근처에서는 하중의 증가 없이 정지 중에도 급격한 파단현상을 보였다.

2차 3조 구조물에 대한 시험에서도 스트레인 및 변위의 거동으로는 균열 발생을 평가할 수 없었다. 노치부의 두께가 2mm로 두꺼워진 2차 시험에서는 외부에 균열이나 흰색 변화 없이 AE 활성도가 약간씩 나타나기 시작했는데 이때 나타난 AE 신호는 균열 발생과 무관한 낮은 레벨의 AE신호였다. 각각의 시험편에 따라 각기 다른 하중 레벨에서 노치선들 상에 변형에 따른 흰색 변화가 나타나거나, 균열이 발생하는 양상을 보여

주었으며, 이것은 플라스틱 재료의 특성상 성형 과정에서 모든 조건이 완전히 일치하는 성형조건을 구현할 수 없으므로 국부적으로는 약간씩 다른 하중레벨을 나타낸 것으로 판단된다.

AE활성도는 1100kgf이상에서 나타나기 시작하고, 내부변형 또는 안쪽의 균열의 시작에 의한 흰색변형은 1145kgf이상에서 나타나기 시작하였으며, 1727kgf이상부터 균열이 외부로 발전하기 시작했다. Table 4는 2차 시험결과 3개의 시험대상품에 대한 AE발생하중 및 파단하중을 나타내고 있다.

Table 4. AE Activities and Load of 2nd Test

구분	AE활성도 시작	흰색변형 발생	균열 외부노출	파단하중	
2차 시험	No.1	1232kgf	2070kgf	2700kgf	2700kgf
	No.2	1415kgf	1490kgf	2820kgf	2820kgf
	No.3	1108kgf	1145kgf	1727kgf	2836kgf

2차 3조의 시편 중 3번째 시편에 대해서도 앞서 시험들과 마찬가지로 AE 기법을 사용하여 시험 중에 발생된 균열 발생하중 및 발생위치를 파악하였다. Fig. 9-10은 시험 중에 측정된 스트레인 및 변위 결과로서 이들 자료만 가지고는 앞서 수행한 시험들과 마찬가지로 균열의 발생시점을 규명할 수 없었다.

균열을 평가하기 위한 AE 매개변수는 AE 사상수(Hits), 링다운 계수(Counts), 최대진폭(Peak Amplitude), 상승시간(Rise Time) 및 누적 AE 에너지(Cumulative AE Energy)를 사용하였으며, 선형위치 표정을 사용하여 노치라인 상에서 초기 균열의 발생위치를 평가하였다. Fig. 11은 전체 AE 채널에 대한 신호 특성결과를 보여주고 있

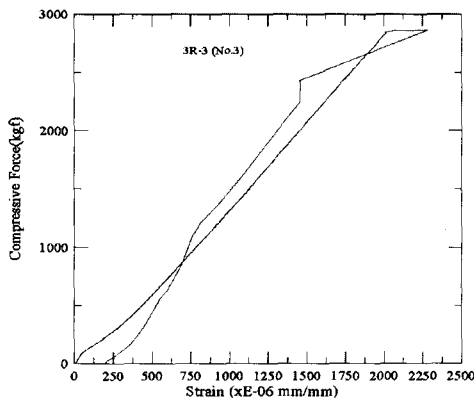


Fig. 9. Compressive Load and Strain

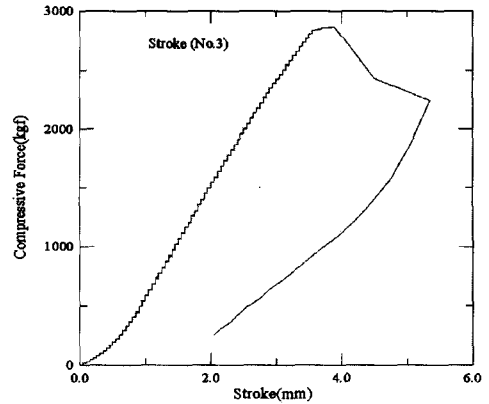


Fig. 10. Compressive Load Stroke

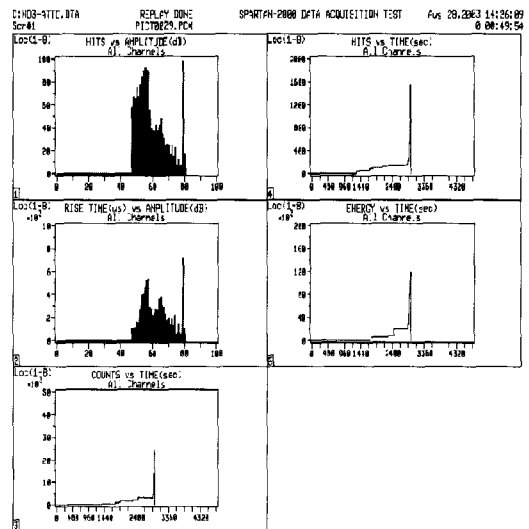


Fig. 11. AE Parameters Distribution of #3 Specimen for 2nd Test

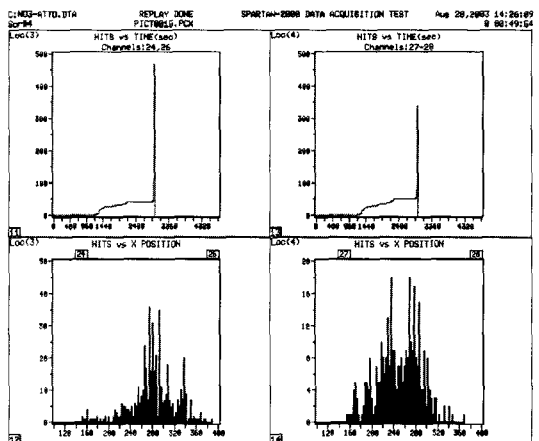


Fig. 12. AE Parameters (a) on Group 3 and 4

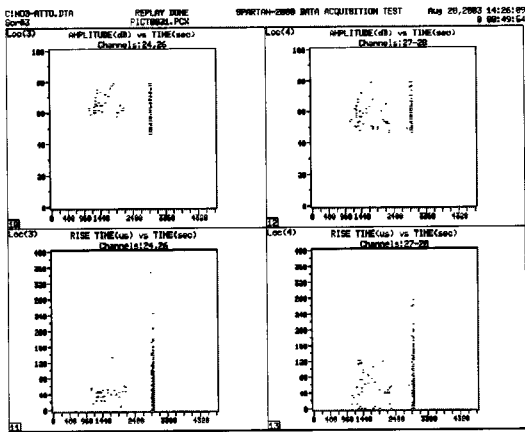


Fig. 13. AE Parameters (b) on Group 3 and 4

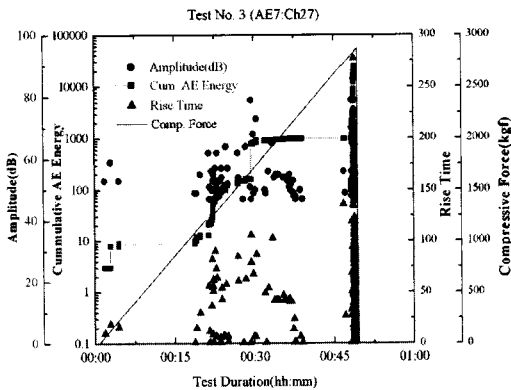


Fig. 14. AE Parameter Distribution and Load

다. 먼저 1번 그림은 사상수 대 진폭(Hits vs Amplitude) 상관관계 그림이며, 시험 중 AE 활성도와 진폭과의 관계를 보여주고 있다. 문턱 값인 47dB 이상에서 80dB 이상까지 다양하게 분포하며, 특히 변형과 미소 균열 등의 생성과 관계가 있는 50dB - 60dB 근처의 AE가 높은 활성도를 나타내고 있다. 2번 그림은 상승시간 과 진폭과의 관계를 보여주고 있다. 상승시간은 사용된 센서의 공진 주파수와 관계가 있으며, 센서의 공진 주파수가 20kHz - 100kHz의 대역을 갖는 공진형 센서 이므로 센서에서 가장 많이 나타나는 신호들의 상승시간은 70µsec - 400 µsec의 분포를 보일 것으로 판단되며, 그 이상과 이하 값을 나타내는 상승시간은 센서의 공진 주파수대와는 다른 고주파수 대역이거나 낮은 주파수 대역의 AE 신호이므로 균열 발생하중을 평가하는 기준값에서는 제외하였다. 그러므로 이 대역을 벗어나는 AE 신호는 균열 진전과 관련된 신호라기

보다는 기타 잡음에 가까운 신호라고 판단할 수 있을 것이다. 3, 4, 5번 그림은 누적 AE 링다운 계수, 사상수 및 에너지를 나타낸 것이다.

변형 및 미소 균열 발생에 따른 AE 최대진폭 분포는 50dB - 60dB 정도를 나타낸 AE 활성도를 기준으로 평가하였고, 미소 균열이 보다 큰 균열로 확대되거나 외부로 균열이 나타날 때는 60dB - 80dB 사이의 값을 나타낼 것으로 평가하였다. 또한 미소균열 발생과 관계된 AE 신호의 상승시간은 센서의 공진 주파수가 20kHz - 100kHz이고 균열 발생 신호의 특성이 매우 낮은 주파수 분포를 나타내는 특성을 고려하면 70 µsec - 400 µsec의 분포를 적용하여 판단하였다. 균열 발생하중을 평가하는 기준은 최대진폭 과 상승시간을 고려하고, 누적 AE 에너지 그림이 급격히 증가하는 경향을 보일 때를 균열 발생하중으로 판단하도록 하였다.

일부 채널에서 낮은 하중 839kgf에서 AE 활성도가 나오기 시작하고 있으나, 그 때 나타나는 AE 신호는 50dB이하의 신호에 아주 낮은 상승시간을 나타내어 균열이나, 변형과 관계된 AE 신호는 아닌 것으로 판단된다. AE 활성도는 1108kgf 하중에서 ch24, 26에 처음으로 나타났으며, 1145kgf에서 그룹3과 4의 노치 라인에서 외부에 흰색 변화가 관찰되기 시작하였고, 활발하게 위치 표정 결과를 나타내었다(Fig. 12.참조). 그룹8의 노치라인에서는 AE 활성도가 나타나지 않다가 1681kgf이후 갑자기 나타나기 시작하다가 1727kgf에서 파단 음과 함께 균열이 갑자기 외부로 확산 진전되었고, 이후로 활발한 AE 활성도를 계속적으로 나타내었다. 2836kgf에서 급격한 균열 전파와 함께 파단 되었다.

노치선들에 대한 AE 센서의 그룹별 고찰결과 처음에 흰색변형이 외부로 가장 먼저 발생한 그룹4번의 상세한 AE 신호분석 결과는 다음과 같다. Fig. 12와 13은 그룹3과 4의 AE 매개변수를

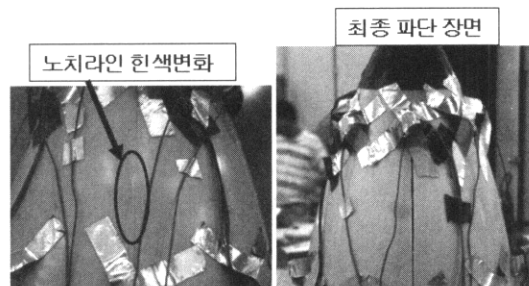


Fig. 15. White Zone and Final Failure

별 AE 상관관계를 Fig. 14와 같이 나타내면 균열 보여주고 있다. 이들 평가 기준을 바탕으로 채널 발생하중을 쉽게 평가할 수 있다. Fig. 15는 시험 중 흰색변형이 나타나는 모습과, 최종 파괴시의 균열 발생 양상을 보여주고 있다.

### 3.3 압축강도시험 종합

1차 시험과 2차 시험에 대해 균열 발생 형태와 파단 시까지의 거동 및 음향방출 시험 결과를 종합하면 다음과 같다.

2차 시험에서는 1차 시험과 달리 처음에는 균열이 바깥쪽에 나타나지 않고 내부의 균열이나 커다란 소성 변형으로 판단되는 흰색변화(백태)가 먼저 외부에 보였으며, 균열이 외부로 나타나는데 시간이 소요되었고, 최종 파단 때까지 변위는 비교적 선형적인 거동을 보였다.

1차 시험과 달리 흰색 변화가 외부로 보인 현상은 노치부의 두께가 상대적으로 두꺼워 지면서 얇은 시편과는 달리 균열이 발생하기 전에 국부적인 소성변형이 나타나는 현상으로 변형에 의한 이러한 흰색 변화가 점차 확대되면서 궁극적으로는 균열이 발생한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 앞서 시편에 대한 시험에서 나타난 특징과 동일하다. 즉 압축하중으로 인하여 원주 방향의 응력이 발생하고 그 결과 응력이 집중되는 노치라인들을 따라 입자 내부에 캐비테이션이 발생하고 이것이 외부로 비칠 때는 빛의 산란 현상에 의하여 손상영역을 보여주는 흰색 빛으로 나타난 것으로 판단된다.

일부 시편에는 흰색 변형부에서 중간에 균열이 외부로 나타난 시편도 있었고, 파단 직전에서야 갑자기 나타난 시편도 있었으나, 두 경우 모두 파단 강도는 2700kgf를 상회하는 유사한 양상을 보여 주었다. 파단 직전까지 압축 변위는 안정적 거동을 보여 주었다. 최종 파단(약 2700kgf 이상)하중에서는 하중의 증가 없이 정지 중에도 급격한 파단을 보여 주었다.

AE 기법을 적용하여 쉘 커버 소재에 대한 균열 발생하중 및 시험 중 발생위치를 평가한 결과 본 AE 기법이 본 플라스틱 소재에 대한 균열 발생 하중 평가에 유용함을 확인할 수 있었다. 위치 표정기법을 적용하여 시험 중 균열 발생위치를 확인하고, 그 결과를 바탕으로 육안 검사를 실시함으로써 정확한 시험 모니터링이 가능하였다. AE 사상수, 누적 AE 에너지, 최대 진폭, 상승시간 등 AE 매개 변수들을 복합적으로 활용함으로써 변형 및 균열 발생하중을 비교적 정확하게 평가할 수 있었다.

## IV. 결 론

AE기법을 이용한 유도탄 플라스틱 쉘 구조물에 대한 인장속도시험 및 구조시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

속도별 인장시험 결과 저속 인장시험에서는 인장속도가 증가함에 따라 강도가 증가하는 특성을 보여주었으나 일정 속도 영역 이상의 고속 인장시험에서는 인장속도 증가와 무관하게 일정한 강도 값을 나타내었다. AE 기법을 적용한 정적 압축 구조시험 결과, 스트레인 및 변위 결과로는 구조물의 국부적인 균열 발생 현상을 정확하게 규명하기 곤란하였으나, AE 기법을 응용함으로써 이들 균열들의 발생위치 및 하중을 정확하게 평가할 수 있었다.

## 참고문헌

- 1) Mallick, P.K. Fiber-reinforced Composites : Materials, Manufacturing and Design, Marcel Dekker Inc., 1988, pp. 454- 455
- 2) Beardmore, P., "Composite Structures for Automobiles", Composite Structures, 5, 1986, pp. 163 - 176
- 3) Ochiai, S.I., Lew, K.Q. and Green, J.E., "Instrumented Impact Testing of Structural fiber-Reinforced Plastic Sheet Materials and the Simultaneous AE Measurements", J. Acoustic Emission, 1(3), July, 1982, pp 191-192.
- 4) Bailey, C.D., Freeman, S.M. and Hamilton, J. M., "Detection and Evaluation of Impact Damage in Graphite/Epoxy Composites", Materials & Processes in Service Performance, Nat. SAMPE Tech. Conf. Series, SAMPE, Azusa, CA, 9, 491-503, 1977, Conference held in Atlanta, GA, Oct. 4-6, 1977.
- 5) Dutton, A.G., et al., "Acoustic Emission Monitoring from wind turbine blades undergoing static and fatigue testing", 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Roma, Italy, October 2000.
- 6) Dan Lindahai and Markku Knuuttila, "Acoustic Emission Monitoring of the JAS 39 Gripen Combat Aircraft", The Japanese Society for NDI, 2000.
- 7) 설창원의 3명, "음향방출법을 응용한 복합재 탄성판 착륙장치의 충격손상 평가", 한국복합



재학회지 제8권, 제3호, pp. 74 -83, 1995.

8) 설창원의 1명, "음향방출법을 응용한 복합재 날개 구조물의 정적 구조강도 평가", 대한기계학회충청지부 추계학술대회, pp. 143 -149, 1998. 11.

9) 박재성의 3명, "복합재료 적층 구조물의 음

향방출 특성 연구", 한국복합재학회지 제16권, 제 6호, pp. 16 -22, 2003.

10) 이덕보의 4명, "고무변성 에폭시 수지의 균열진전과정과 음향방출 특성", 한국복합재학회지 제16권, 제4호, pp. 44 -50, 2003.