

〈論 文〉

충격하중을 받는 금속복합재료의 동적변형거동에 관한 연구

김문생* · 이현철**

(1993년 2월 20일 접수)

Dynamic Deformation Behavior of Metal Matrix Composites Under Impact Loading

Moon Saeng Kim and Hyeon Chul Lee

Key Words: Dynamic Tensile Test(동적인장시험), Impact Tensile Loading(충격인장하중), High Strain Rate(고변형도률), Metal Matrix Composite(금속복합재료)

Abstract

The characteristics of metal matrix composite under dynamic tension at high strain rates up to the order of 10^3 /sec is studied by using newly developed apparatus. The composite material processed in this research is aluminum-alumina metal matrix composites, and fabricated by compocasting with the fiber volume fraction from 5 to 20%. The whisker and matrix material used in this paper were δ - Al_2O_3 and Al-6061, respectively. The mechanical tests performed in this research are low and high strain rate tensile test. At low strain-rate tensile test, the modulus of elasticity and the ultimate tensile strength of the composites were improved about 77 pct. and 55 pct., respectively comparing with the unreinforced materials. At strain-rate from 10^{-3} to 10^3 /s, the effect of strain-rate on the modulus, ultimate strength, flow stress is determined. Also the effect of strain rate on the modulus, ultimate tensile strength, flow stress and elongation to failures were investigated.

1. 서 론

신소재로서 첨단복합재료(advanced composite material, ACM)의 범주에 속하는 금속복합재료(metal matrix composite material)의 연구^(1~5)는 비교적 새로운 연구분야로서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 신소재로서 개선되어지는 일반적인 특성은 비강도, 비강성, 내부식성, 내마모성, 비중량, 피로수명, 내열성 등이다.^(1,2)

특히, 금속기지 복합재료(metal matrix composite)는 폴리머기지 복합재료(polymer matrix composite)와 비교하여 내충격성 및 비강성이 우수하며 고온에서 열적 안정성이 좋고 열 및 전기의 전도도가 높은 것이 특징이다. 이러한 장점을 갖고 있기 때문에 금속기지 복합재료는 신소재로서의 영역을 넓혀가고 있는 새로운 연구분야이다.

금속복합재료를 제조시 발생하는 여러가지 성형 조건에 대한 연구^(6~8)뿐만 아니라 성형된 복합재료의 기계적 거동에 대한 연구 또한 실제적인 설계 및 구조물への 적용시 기초적인 자료로서 매우 중요하다. 그리고 최근의 충격저항 구조물에 대한 복

*정회원, 부산대학교 기계설계공학과

**정회원, 부산대학교 기계공학과 대학원

합재료의 사용이 점점 증가하는 추세에서 동적변형 거동에 관한 연구는 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 특히 금속복합재료의 정적인 하중하에서의 여러가지 기계적거동에 대한 연구^(9,10)는 많으나 동하중하에서의 기계적거동에 대한 연구는 미비한 실정이다.

최근 Kawata 등⁽¹¹⁾은 $10^3/\text{sec}$ 까지의 고변형도에서 폴리머복합재료의 충격거동에 대해서 연구하였다. 이들은 Charpy충격시험기를 수정하여 회전 디스크형(rotating disc type)과 진자형(pendulum type)으로 시편에 충격하중을 가하였으며, 1차원 파동이론에 기초를 둔 one-bar method를 사용하여 측정된 신호로부터 시편의 동적인장응력-변형률관계를 해석하였다. Adams 등⁽¹²⁾도 carbon/epoxy, glass/epoxy 폴리머복합재료에 대한 충격거동에 관해서 해석하였다.

금속복합재료의 충격거동에 관한 연구는 최근 Girot 등⁽¹³⁾과 Harding과 Taya⁽¹⁴⁾등이 수행하였는데, Girot 등은 콤포캐스팅법(compocasting)에 의해 제조된 SiC휘스카(SiC whisker) 강화 알루미늄 금속복합재료 시편을 가지고 충격파괴실험을 통하여 휘스카의 길이비 및 부피분율에 따른 충격파손 에너지(impact rupture energy)와 K_{ID} 값을 유도하였다. Harding과 Taya는 SHPB(split Hopkinson pressure bar)충격실험장치를 이용하여 $\text{SiC}_w/2124\text{-Al}$ 금속복합재료의 변형도물에 따른 인장강도, 탄성계수, 파손에 이르는 변형률의 변화 그리고 이들의 미시역학적 거동에 대한 고찰을 통하여 흐름응력의 변형률에의 의존성은 기지재료에 비해 미약하며 오히려 파손에 이르는 변형률의 현저한 증가현상을 관찰하였다.

본 연구에서는 콤포캐스팅 제조법을 이용하여 $\text{Al}_2\text{O}_3/6061\text{Al}$ 금속복합재료를 성형하고, 자유낙하 충격시험기(drop tower impact tester)를 통하여 변형도물에 따른 ($10^{-4}/\text{s} < \dot{\epsilon} < 10^3/\text{s}$)시편의 흐름응력(flow stress), 탄성계수(young's modulus), 인장강도(tensile strength)의 변화를 해석하였다. 또한 휘스카의 부피분율에 따른 금속복합재료의 동특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.2 실험재료 및 성형장치

기계적성질이 우수한 복합재를 얻기 위해서는 연

Table 1 Properties of $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ Whisker

Tensile strength	about 1.5 GPa
Modulus of elasticity	300 GPa
Density	3.3 g/cm ³
Melting temperature	2000 °C
Whisker diameter	3 μm
Whisker mean length	70 μm

Table 2 Chemical composition(wt %) of $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ Whisker

Composition	Al_2O_3	SiO_2	etc.
Rate(%)	96.1	3.4	0.5

Table 3 Properties of Al6061

Tensile strength	124.1 MPa
Modulus of elasticity	about 69 GPa
Density	2.70 g/cm ³
Melting temperature	582~649 °C

Table 4 Chemical composition(wt %) of Al6061

Composition	Al	Mg	Si	Cu	Cr
Rate(%)	97.9	1.0	0.6	0.25	0.25

성이 좋은 기지금속과 강도나 탄성계수(elastic modulus)가 우수한 강화재를 일차적으로 선택해야 한다. 본 실험에서 사용한 강화재는 고온에서도 높은 안정성을 갖는 $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 휘스카이며 이 휘스카에 대한 물성치와 화학적성분비를 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 기지금속(matrix)으로는 알루미늄(Al 6061)을 사용하였으며, 그 물성치와 화학적성분비도 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

본 연구에서 시편을 성형하기 위해서 Fig. 1과 같이 콤포캐스팅법에 의한 금속복합재료를 성형하였다. 실험장치는 로 내부의 도가니를 가열시켜주는 히터와 내부온도를 측정하는 열전대, 온도를 제어해 주는 콘트롤러, 용융금속과 강화재를 교반시켜 주는 장치인 프로펠러와 축, 변속이 가능한 직

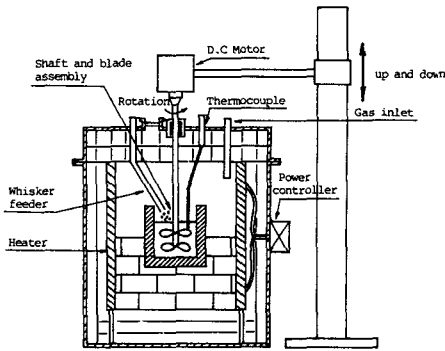


Fig. 1 Schematic illustration of compocasting apparatus

류모터, 그리고 프로펠러의 상하운동을 얻기 위한 상하 이송장치로 구성되어 있다. 또한 윗덜개에는 분위기를 위한 아르곤 가스 주입구, 교반시 내부를 볼 수 있는 장치, 강화재를 주입하기 위한 주입구가 장치되어 있다.

2.2 재료시험

폼포캐스팅법에 의해 제조된 금속복합재료의 정적 및 동적 기계적성질을 규명하기 위해서 정적 및 동적인장시험을 다음과 같이 행하였다. 사용된 시편의 형상은 Fig. 2에 나타나 있다. 제조후 시편은 T6열처리(T6 heat treatment) 하였다.

(1) 정적인장시험

정적인장시험($\epsilon=0.926 \times 10^{-3}/s$)은 상온에서 만능 재료시험기(25 ton, tensilon)을 사용하여, 각 부피분율에 따라 수행하였다.

(2) 충격적인장시험

① 충격인장 실험장치

Fig. 2과 같이 제조된 시편에 충격인장하중을 가하기 위해 설계제작된 실험장치가 Fig. 3에 나타나 있다. 본 실험장치는 자유낙하에 의해서 시편에 충격인장을 가할 수 있도록 제작되었으며, 스트라이커(striker), 입력봉(incident bar), 출력봉(output bar), 수직판(vertical plate), 그리고 낙하구조물(drop tower)로 구성되어 있다. 낙하구조물은 직경 25 mm, 길이 4 m의 연마봉으로 제작되어 25 cm 간격으로 수직으로 서 있다. 상부는 천정과 앵커볼트로 체결하였으며, 하부는 지하 0.5 m 깊이의 콘크리트 위에 두께 30 mm, 길이 600 mm의 정사각형 연강(S30C)을 고정시킨뒤 그위에 볼트로

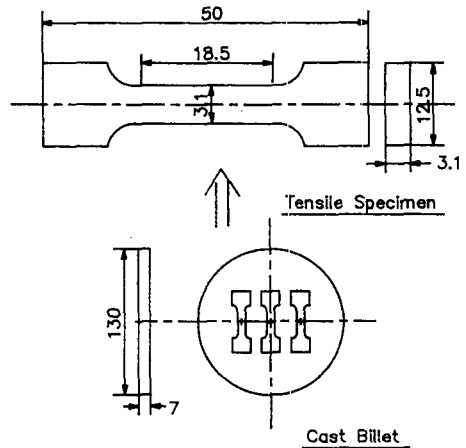


Fig. 2 Shape of static and dynamic tensile test specimen

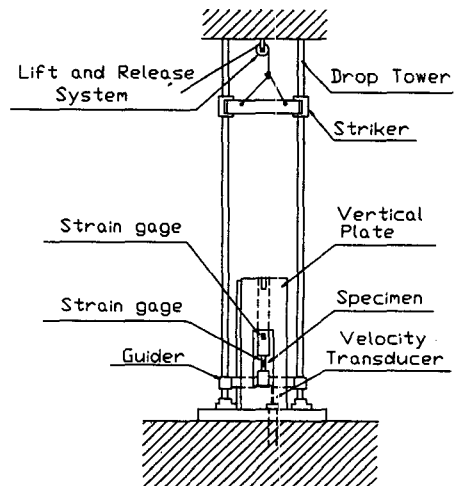


Fig. 3 The instrumental dynamic tensile test standing about 4.0 m on the floor

고정시켰다. 스트라이커는 낙하시 출력봉을 고정하고 있는 수직판과의 접촉을 피하기위해 사각 구조물로 제작되었으며, 질량은 6.2 kg이다. 또한 출력봉을 고정하기 위한 수직판은 두께 25 mm, 길이 1050 mm, 폭 150 mm의 연강으로 제작되어 서로 두개가 마주보며 수직으로 서 있는데, 출력봉을 고정하기 위해서 수직판 상부에 낙하구조물의 간격 중앙위치에 가로방향으로 홈을 파고 출력봉을 볼트로 고정하였다. 출력봉에는 Fig. 4와 같이 중앙위치에 스트레인게이지가 부착되어 있다. 입력봉에는 속도변환기(velocity transducer)의 코아(core)가

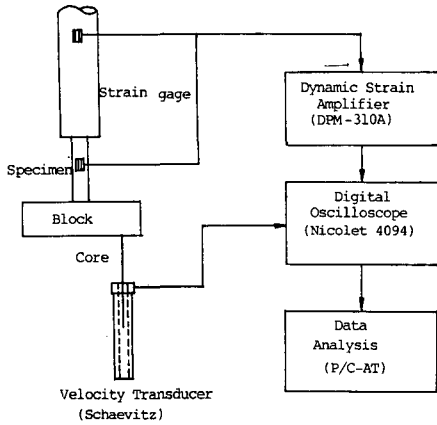


Fig. 4 Schematic diagram of one bar method of block-to-bar type and measurement & data analysis system

고정되어 있어 시편의 변형속도가 측정된다.

② 측정 및 해석

본 연구에서 사용된 실험장치는 자유낙하를 이용하여 스트라이커가 입력봉에 충격하중을 가하여 시편에 충격인장하중이 전달되도록 제작되었다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 출력봉에 부착된 스트레인게이지(KFC-1 D16-11, KYOWA)로부터 출력봉의 시간에 대한 변형률곡선을 측정한다. 또한, 시편에 부착된 스트레인게이지(KFC-5-CI-16, KYOWA)로부터 시편의 변형률 곡선을 측정한다. 또한, 입력봉에 부착된 속도변환기의 코어가 낙하구조물 바닥에 고정된 속도변환기 하우징(velocity transducer housing)을 이동하면서 시편의 변형속도를 측정한다. 측정된 출력신호는 증폭기(dynamic strain amplifier), 오실로스코프(oscilloscope)를 통하여 측정된다. 속도변환기의 감도는 19.291 mV/mm/sec이다.

Fig. 5와 Fig. 6은 출력봉과 속도변환기로부터 얻은 변형률-시간(strain-time), 속도-시간(velocity-time) 곡선을 나타낸다. 여기서 Fig. 5에서 처럼 스트레인게이지 부착점에서 거리 a 만큼 앞선지점에서 측정된 변형률-속도곡선으로부터 임의의 시간에 대한 시편의 응력과 변형률은,

$$\sigma_y(t) = \frac{A_o}{A} E_b \varepsilon_g(t + a/C) \quad (1)$$

$$\varepsilon_y(t) = \frac{1}{l} \int_0^t [V(\tau) - C\varepsilon_g(\tau + a/C)] d\tau \quad (2)$$

이 된다. 여기서 A_o 는 출력봉의 단면적이고, A 는

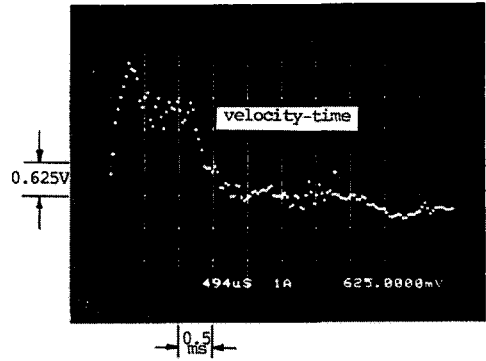


Fig. 5 Typical velocity-time curve

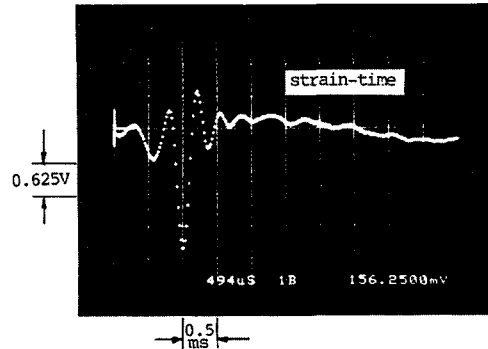


Fig. 6 Typical strain-time curve

시편의 단면적이며, E_b 는 출력봉의 종탄성계수(young's modulus)이다. 그리고 $\varepsilon_g(t)$ 는 출력봉의 스트레인게이지로 측정된 값을 나타내며, C 는 종방향 탄성과 전파속도(longitudinal elastic wave velocity)이고 l 는 시편의 길이이며, V 는 속도 변환기로부터 측정된 시편의 변형속도이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 금속복합재료를 성형하는데 사용된 실험장치는 용탕의 온도를 제어하면서 교반할 수 있도록 제작되었다. 또한 교반기의 위치가 휘스카의 균일분산에 미치는 영향을 고려하여 프로펠러 및 축이 상하운동할 수 있도록 교반용 모터를 수직상하 이동장치에 부착하였다. 단섬유강화 금속복합재료의 성형시 교반온도, 교반시간, 교반속도, 용탕의 크기에 대한 프로펠러의 운동, 냉각속도의 선정 그리고 가압조건은 매우 중요하다.

본 연구에서는 교반온도는 고상율 5%이내(645℃

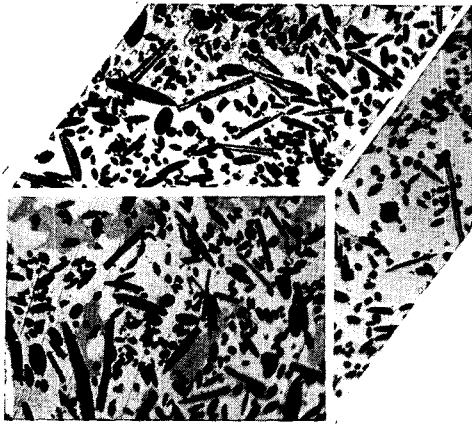


Fig. 7 Optical micrographs of alumina short fibers at $V_f=10\%$, $T=648^\circ\text{C}$, $t=30$ min. $p=50$ MPa showing good distribution and bonding($\times 400$)

~648°C)에서, 교반시간은 5%, 7%인 경우 20~25 분, 10%는 약 30분, 20%인 경우 약 40분이 소요 되었으며, 교반속도는 평균 300 rpm에서 수행하 며, 교반봉의 상하운동은 필수적이었다. 또한 1 MPa/min의 가압속도로 최고 52 MPa의 가압력으로 가압하여 최적의 시편을 제작하였다. Fig. 7은 $V_f=10\%$ 일 때 위의 성형조건에 따라 성형된 시편의 단면을 나타낸다.

3.1 정적인장시험

본 연구에서 콤포캐스팅법에 의해 성형한 금속복 합재료를 이용하여 각 부피분율($V_f = 5\%$, 7% , 10% , 20%)에 대해서 상온에서 정적인장시험을 수 행하였다.

시편의 형상은 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 정적 인장시험시 측정된 변형률은 약 $9.26 \times 10^{-4}/\text{s}$ 이였 다. Fig. 8은 각 부피분율에 대한 탄성계수(young's modulus)의 변화를 나타내었다. 또한 Fig. 9는 각 부피분율에 대한 인장강도의 변화를 나타내고 있으 며, Fig. 10은 각 부피분율에 대하여 $\dot{\epsilon}=9.26 \times 10^{-4}/\text{s}$ 에서의 응력-변형률 곡선을 나타낸다.

Fig. 8과 Fig. 9에서 알 수 있듯이 탄성계수 및 인장강도는 부피분율이 증가함에 따라 명백하게 증 가함을 알 수 있다.

인장강도와 탄성계수를 계산한 혼합법칙에 대한 식은 다음과 같다.

$$\sigma_c = BV_f\sigma_f + (1 - V_f)\sigma_m \tag{3}$$

$$E_c = BV_fE_f + (1 - V_f)E_m \tag{4}$$

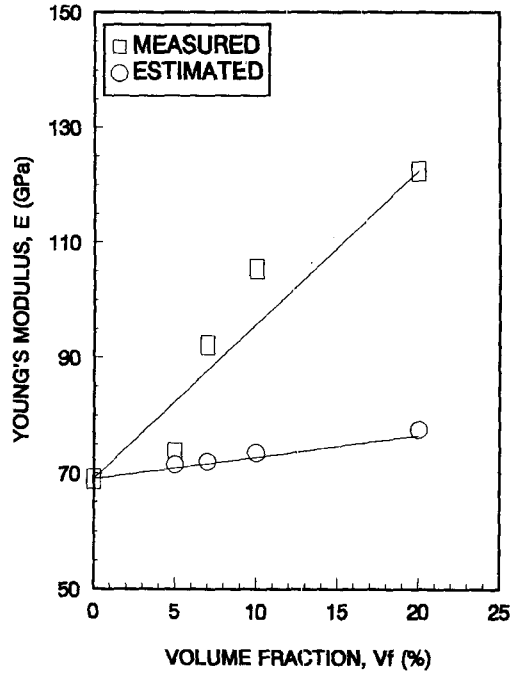


Fig. 8 Elastic modulus vs. volume fraction of Al₂O₃ whiskers

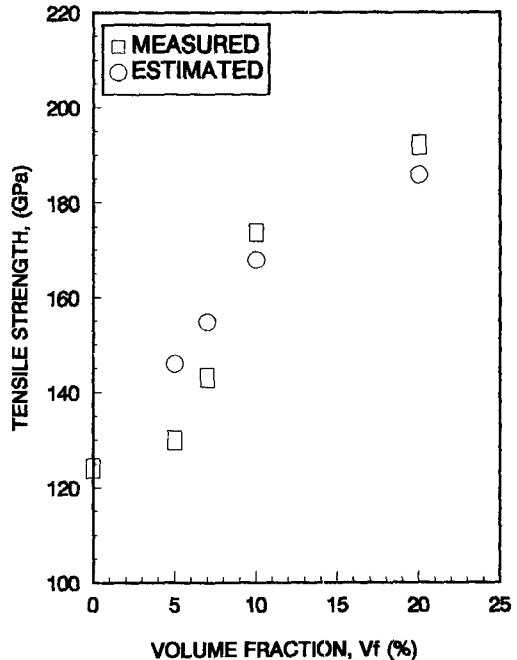


Fig. 9 Ultimate tensile strength vs. volume fraction of Al₂O₃ whiskers

여기서, σ_c : 복합재료의 인장강도
 σ_f : 강화재의 인장강도
 σ_m : 기지재료의 인장강도
 E_c : 복합재료의 탄성계수
 E_f : 강화재의 탄성계수
 E_m : 기지재료의 탄성계수
 V_f : 부피분율
 B : 강화재의 정열계수

Fig. 8과 Fig. 9에서 나타나 있듯이 탄성계수의 경우 혼합법칙에 의해 계산된 값은 부피분율이 증가함에 따라 거의 일정한 값을 갖는 반면 측정치는 5%인 경우는 계산된 값과 거의 일치하나 부피분율이 증가함에 따라 급격히 증가하는 경향을 띠고 있음을 알 수 있다.

그러나 인장강도의 경우는 계산된 값과 측정된 값의 부피분율에 따른 변화 경향과 함께 값에서도 거의 일치함을 알 수 있다.

Fig. 10은 각 부피분율에 대하여 응력-변형률 곡선을 나타낸다. 변형률의 경우 부피분율이 증가함에 따라 급격히 감소함을 나타내고 있는데 이로써 부피분율이 증가함에 따라 취성이 강해짐을 알 수 있다.

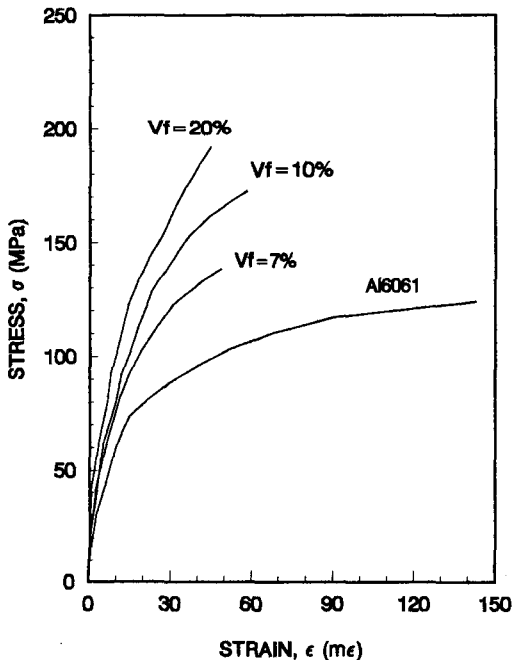


Fig. 10 Stress vs. strain curves at each volume fraction V_f (%) ($\dot{\epsilon} \cong 9.2614^{-4}/s$)

실제적으로 항복 및 인장강도, 탄성계수, 연신률 등에 미치는 영향은 매우 복잡할 뿐만 아니라 여러 가지 요인들의 상관관계에 의존하기 때문에 정확하게 규명하기는 쉽지 않다. 특히 McDanel⁽⁶⁾은 이러한 요인들을 각 인자별로 분리하여 그 원인을 고찰하였는데, 그 결과 부피분율, 기지재료, 배향성 등에 가장 큰 영향을 받는다는 것을 실험적으로 규명하였다.

기지재료의 경우 Al-6061으로 복합재료를 성형하였을 때 가장 높은 인장강도와 가장 큰 연신률을 나타냄을 보였다. 그러나 본 실험에서 알 수 있듯이 휘스카강화 금속복합재료의 경우 부피분율이 가장 중요한 역할을 담당함을 알 수 있다. 본 실험에서는 인장강도의 경우 $V_f=20\%$ 일때 55%, 탄성계수의 경우 $V_f=20\%$ 일 때 77% 증가하였다.

3.2 충격인장시험

본 연구에서는 Fig. 3과 같은 충격인장시험 장치를 통하여 상온에서 시편에 동하중을 가하였다. 실험에 사용된 시편의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 11과 Table 5에 낙하높이와 부피분율에 따른 시편의 최종변형률을 나타내었다. Fig. 11에서 알

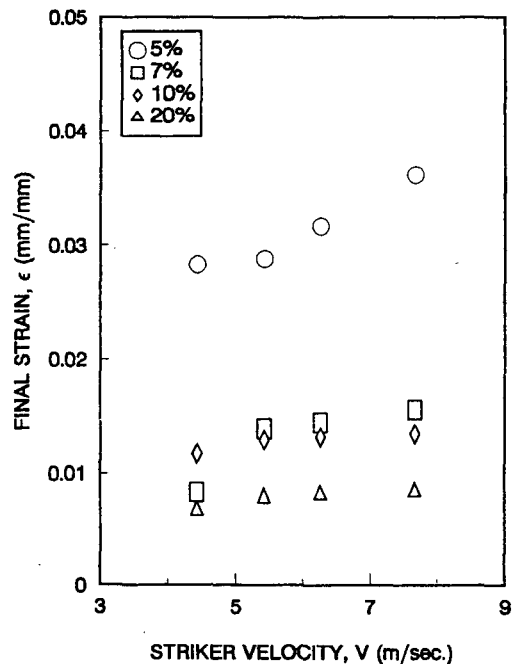


Fig. 11 Striker velocity vs. final strain at each volume fraction, V_f (%)

Table 5 Final strain at a desired drop height (m)

drop height V_f (m)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	static ($\dot{\epsilon}=9.26 \times 10^{-4}$ /s)
Al6061	0.1333	0.258333	0.2617	0.2778	0.2889	0.0527
5%	0.0278	0.0283	0.0288	0.03167	0.03617	0.0222
7%	0.013888	0.0083	0.01389	0.01444	0.01556	0.01111
10%	0.01111	0.01167	0.01389	0.01415	0.01444	0.0083
15%	0.00666	0.00667	0.00778	0.00808	0.00833	0.0056

수 있듯이 최종변형률은 낙하높이가 증가할수록 미소하게 증가하는 현상을 관찰할 수 있다. 그리고 부피분율이 증가함에 따라서는 최종변형률이 감소함을 볼 수가 있는데 복합재료의 경우 Al-6061에 비해 급격히 떨어진 값을 나타낸다.

휘스카가 강화된 금속복합재료의 경우 최종변형률은 0.667%에서 3.6%의 범위에 존재하였는데 비해 Al-6061은 13.3%에서 28.89%까지의 범위에 존재하였다. 이는 부피분율이 증가함에 따라 연신률이 떨어지는 현상과 일치함을 보여준다.

정적인장실험($\dot{\epsilon}=9.26 \times 10^{-4}$ /s)인 경우 Al-6061의 변형률과 비교해 보면, 정적 인장 실험인 경우 부피분율이 증가함에 따라 최종변형률이 5.27%에

Table 6 (a) Ultimate tensile strength and (b) tensile modulus of static and dynamic tensile test specimen

(a)

V_f Height(m)	5%	7%	10%	15%
0.5	115	179	200	220
1.0	119	210	225	260
1.5	125	215	248	320
2.0	130	250	275	365
3.0	140	305	310	385
Static	130	143	173.7	192.7

(unit:MPa)

(b)

V_f Height(m)	5%	7%	10%	15%
0.5	95	120	150	180
1.0	96	125	156	186
1.5	100	131	163	194
2.0	110	136	168	206
3.0	104	130	162	205
Static	73.5	92.1	105.4	122.4

(unit:GPa)

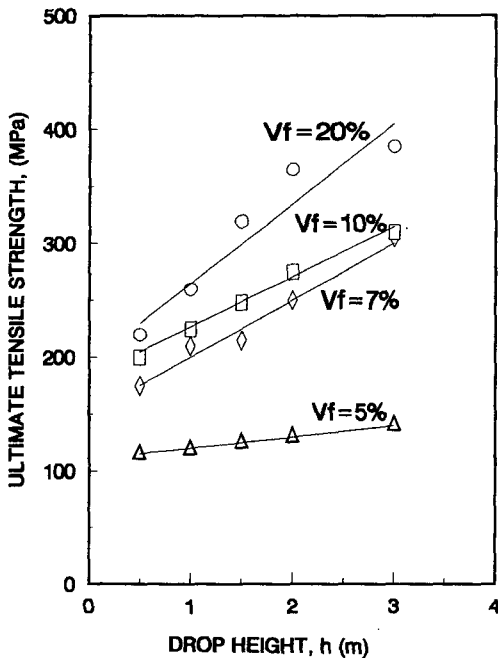


Fig. 12 Strain-rate dependence of ultimate tensile stress at each volume fraction, V_f (%)

서 0.5%까지의 값을 가진 반면 충격인장하중을 받는 경우의 변형률은 정적인 경우에 비해 약 10배에서 50배까지의 큰 값을 가진다. 이와 같은 현상은 일반적으로 금속복합재료보다 연신률이 매우 큰 Al-6061의 경우 금속복합재료보다 더 큰 변형에너지를 흡수하기 때문으로 사료된다.

또한 복합재료인 경우도 변형률이 정적인 경우보다 비교적 큰 값을 가지면서 증가하는데 그 차이는 Al-6061보다는 매우 작다.

Table 6(a)와 Fig. 12는 낙하높이와 부피분율에 따른 인장강도의 변화를 나타낸다. 그림에서 알수 있듯이 같은 부피분율에 대해서 변형도율이 증가함에 따라 인장강도는 증가함을 알수 있으며, 동일한 낙하높이에서 부피분율이 증가함에 따라 인장강도는 증가함을 알 수 있다. 그리고 정적인장시험에서의 인장강도와 비교해 보면 대체적으로 큰 값을 가지는데, 부피분율 20%, 낙하높이 3.0 m에서 정적인 경우 보다 약 99%까지 증가하였다.

Table 6(b)와 Fig. 13은 낙하높이와 부피분율에 따른 탄성계수의 변화를 나타낸다. 탄성계수도 부피분율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 띠고 있다. 그러나 부피분율 20%의 경우 낙하높이 2 m에

서는 탄성계수가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 부피분율 5%, 7%, 10%인 경우에서도 마찬가지로 낙하높이 2 m에서 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 탄성 계수의 변형도를 의존성은 탄성영역 내에서의 미시적 변형률(microstrain)의 변화에 크게 관계되기 때문이며,⁽¹⁴⁾ 본 연구에서와 같이 소성 변형률이 작고 전체 변형률이 매우 작은 금속 복합 재료인 경우 탄성계수의 변형도를 의존성과 흐름응력 사이의 관계를 정량적으로 규명하기는 매우 어렵다. 그리고 정적인 경우의 탄성계수와 비교해보면 인장강도와 마찬가지로 정적인 경우가 증가하는 경향을 띤다. 부피분율 20%, 낙하높이 3.0 m에서 약 67.5%까지 증가하였다.

Fig. 14와 Fig. 15는 각각 Al-6061, $V_f=20\%$ 일 때 일정한 부피분율에 대한 변형률-시간 곡선을 나타낸다. 그리고 Fig. 16은 각 부피분율에 대하여 일정한 낙하높이에서 변형률-시간 곡선을 나타낸다.

이 곡선들은 속도변환기로부터 얻은 속도-시간 곡선을 시간에 대해서 적분하여 얻은 곡선이다. 전체 변형시간은 부피분율이 증가함에 따라 현격하게 줄어들고 있으며, 낙하높이가 증가함에 따라서는

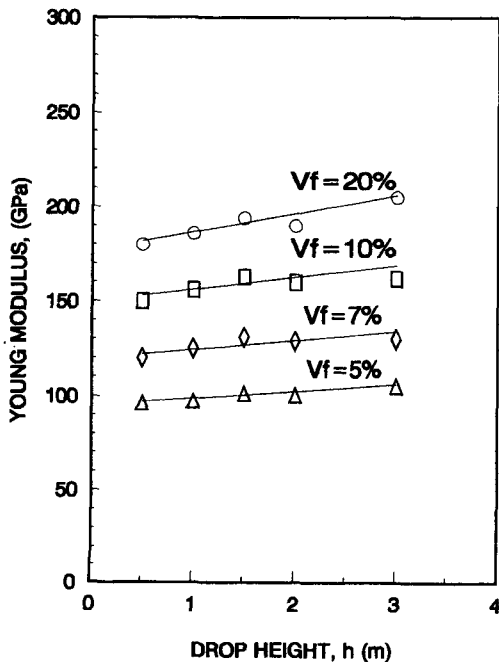


Fig. 13 Strain-rate dependence of tensile modulus at each volume fraction, V_f (%)

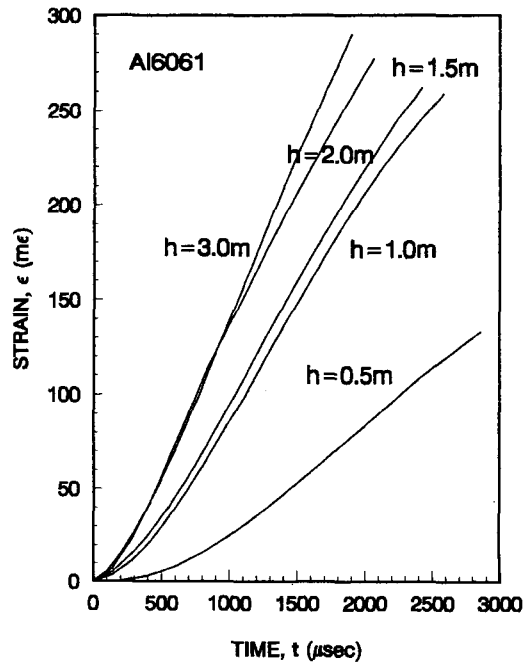


Fig. 15 Strain vs. time curves at each drop height, h (m)

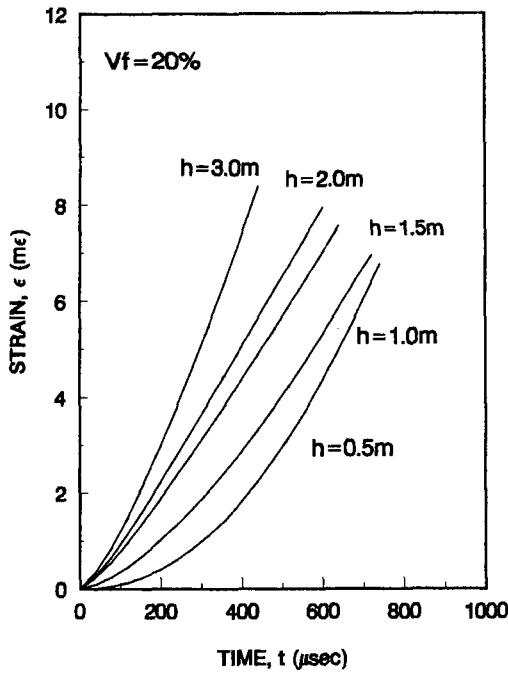


Fig. 15 Strain vs. time curves at a constant volume fraction ($V_f=20\%$) with various drop height, $h(m)$

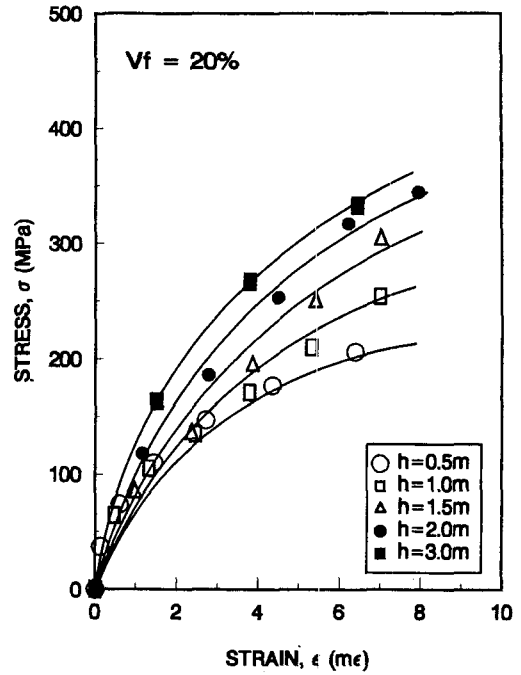


Fig. 17 Strain vs. strain curves at a constant volume fraction ($V_f=20\%$) with various drop height, $h(m)$

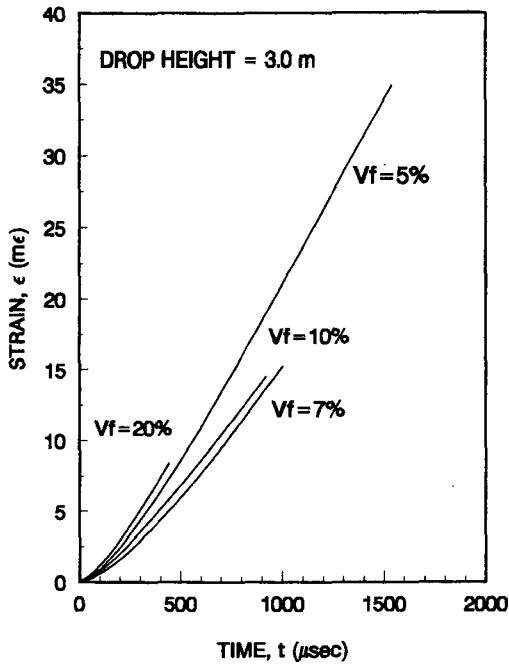


Fig. 16 Strain vs. time curves at a constant drop height ($h=3.0m$) with various volume fraction, $V_f(\%)$

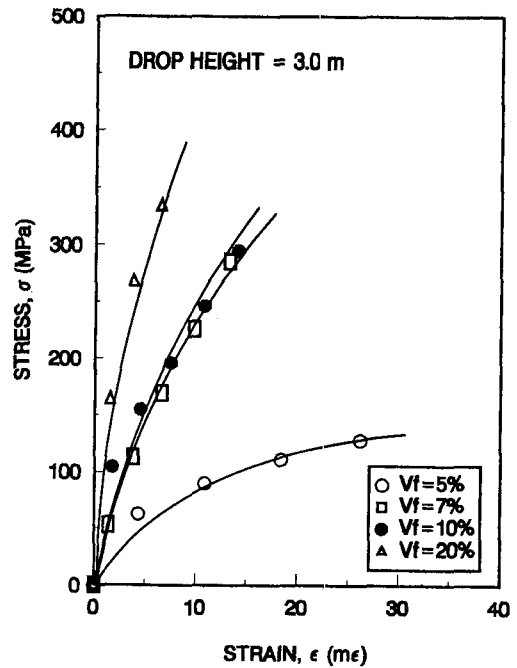


Fig. 18 Strain vs. time curves at a constant drop height ($h=3.0m$) with various volume fraction, $V_f(\%)$

거의 미소하게 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 16에서 보는 바와 같이 금속복합재료의 경우 부피분율이 증가함에 따라 변형곡선의 기울기는 거의 일정하나 Al-6061(Fig. 14)와의 차이는 현격하게 나타난다. 그러나 그 기울기는 낙하높이가 증가할수록 Al-6061의 기울기에 근접하게 되는데 이는 변형속도의 차이로 인한 현상으로 낙하높이가 높을수록 시편은 빠른속도로 변형함을 알 수 있다.

Fig. 17은 일정한 부피분율에 대한 응력-시간 곡선을 나타내는데, 낙하높이가 증가함에 따라 흐름응력은 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 일정한 응력에 대한 변형률은 낙하높이가 증가함에 따라 감소하는 경향을 띤다. 이는 변형도률이 증가함에 따라 흐름응력이 증가하는 일반적인 사실과 잘 일치한다.

또한 Fig. 18은 일정 낙하높이에 대한 응력-시간 곡선을 나타내는데, 부피분율이 증가하면서 변형률은 현저하게 감소하나 흐름응력은 현저하게 증가하는 것을 알 수 있다. 변형률의 감소는 부피분율이 증가할수록 연성보다는 취성을 띠기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서 Al-6061, 알루미늄나뭇스카를 사용하여 금속복합재료를 콤포캐스팅 및 가압에 의해서 시편을 제조하여, 복합재료의 동적거동에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 단섬유강화 금속복합재료를 콤포캐스팅법에 의해 성형시 도출된 최적성형조건은 다음과 같다. 먼저 교반온도는 고상율 5% 이내 ($645^{\circ}\text{C} \sim 648^{\circ}\text{C}$)에서, 교반시간은 5%, 7%인 경우 20~25분, 10%는 약 30분, 20%인 경우 약 40분이 소요되었으며, 교반속도는 평균 300 rpm에서 수행하며, 교반봉의 상하운동은 필수적이었다. 또한 1 MPa/min의 가압속도로 최고 52MPa의 가압력으로 가압하여 최적의 시편을 제작하였다.

(2) 정적인장시험에서 구한 인장강도는 혼합법칙에서 얻은 값과 잘 일치하였으나 탄성계수는 부피분율이 증가할수록 큰차이를 보였으며, 부피분율이 증가할수록 연신률은 크게 감소하였으며, 부피분율 20%의 경우 인장강도는 약 55%, 탄성계수는 약 77% 증가되었다.

(3) 충격인장시험에서 최종 변형률은 낙하높이와 부피분율이 증가할수록 미소하게 증가하였으며, 충

격 인장시 인장강도의 변화는 낙하높이와 부피분율이 증가할수록 거의 선형적으로 증가하였다. 그러나 탄성계수는 비교적 증가하는 경향을 띠고 있으나 부피분율 15%, 낙하높이 2m에서 그 값이 감소하다가 다시 증가하였으며, 정적인 경우와 비교해 보면 부피분율 20%, 낙하높이 3.0m에서 인장강도는 약 99%, 탄성계수는 약 67.5%까지 증가하였다.

후 기

본 연구는 1991년도 학술진흥재단(자유공모과제)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Bunsell, A. R., 1987, "Fibre Reinforcement-Past Present and Future," Proc. ICCM-6/ECCM-2, edited by F.L. Matthews et al., Vol. 5, pp. 5.1~5.37.
- (2) Marsden, K., 1985, "Commercial Potentials for Composites," Journal of Metals. June, pp. 59~62.
- (3) Iseki, T., Kameda, T. and Maruyama, T., 1984, "Interfacial Reactions Between SiC and Aluminum During Joining," Journal of Materials Science, Vol. 19, pp. 1692~1698.
- (4) Christman, T. and Suresh, S., 1988, "Microstructural Development in an Aluminum Alloy-SiC Whisker Composites," Acta Metall. Vol. 36, No. 7, pp. 1691~1704.
- (5) Divecha, A. P., Fishman, S. G. and Karmarker S. D., 1981, "Silicon Carbide Reinforced Aluminum- A Formable Composites," Journal of Metals. September, pp. 12~16.
- (6) McDanel, D. L., 1985, "Analysis of Stress-Strain, Fracture, and Ductility Behavior of Aluminum Matrix Composites Containing Discontinuous Silicon Carbide Reinforcement," Metallurgical Transactions A. Vol. 16A, June, pp. 1105~1115.
- (7) Ehrstron, J. C. and Kool, W. H., 1988, "Production of Rapidly Solidified Al/SiC Composites," Journal of Materials Science, Vol. 23, pp. 3195

- ~3201.
- (8) Christman, T. and Suresh, S., 1988, "Microstructural Development in an Aluminum Alloy-SiC Whisker Composites," *Acta Metall.* Vol. 36, No. 7, pp. 1691~1704.
- (9) Quigley, B. P., Abbaschian, G. J., Wunderlin R. and Mehrabian R., 1982, "A Method for Fabrication of Aluminum-Alumina composites," *Metallurgical Transaction A*, Vol. 13A, pp. 93~100.
- (10) Clegg, W. J., 1988, "A Stress Analysis of the Tensile Deformation of Metal-Matrix Composites," *Acta Metall.* Vol. 36, No. 8, pp. 2141~2149.
- (11) Kawata, K., Hondo, A., Hashimoto, S., Takeda, N. and Chung, H. L., 1981, "Dynamic Behaviour Analysis of Composite Materials," *Japan-US Conference*, Tokyo, pp. 3~11.
- (12) Adams, D. F. and Adams, L. G., 1990, "Tensile Impact Test of AS4/3501-6 and S2/3501-6 Unidirectional Composites and the 3501-6 Epoxy Matrix," *Journal of Composite Materials*, Vol. 24, pp. 256~268.
- (13) Girot, F., Quenisset, J. M., Naslain, R. and Coutand, B., Macke T., 1987, "Mechanical Behavior of Aluminum Matrix Composite Reinforced by Short Fibers and Processed by Compocasting," *Proc. ICCM-6/ECCM-2*, edited by F. L. Matthews et al., Vol. 2, pp. 2.330~2.339.
- (14) Harding, J., Taya, M. and Derby, B., Pickard, S., 1987, "An Investigation of the High Strain Rate Deformation of SiC_w/2124 Al Composite," *Proc. ICCM-6/ECCM-2*, Edited by F. L. Matthews et al., Vol. 2, pp. 2.224~2.233.