[UCI]I804:24011-200000233848

2007년 2월
석사학위논문

GMT-Sheet의 압축비에 따른 기계적 특성에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원
정밀기계공학과
박 상 수

*GMT-Sheet*의 압축비에 따른 기계적 특성에 관한 연구

A study on the mechanical properties according to compression ratio of GMT-Sheet

2007 년 *2* 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

정밀기계공학과

박 상 수

*GMT-Sheet*의 압축비에 따른 기계적 특성에 관한 연구

지도교수 이 동 기

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2006 년 *10* 월

조 선 대 학 교 대 학 원

정밀기계공학과

박 상 수

박상수의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 심재기 (인)

위원 조선대학교 교수 한길영 (인)

위원 조선대학교 교수 이동기 (인)

2006 년 11 월

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

LIST OF FIGURES ····· Ⅲ
LIST OF TABLES ····· Ⅴ
LIST OF PHOTOGRAPHS ····· Ⅵ
ABSTRACT ····· Ⅷ

제 1 장 서 론 ····· 1
1-1 연구배경 ····· 1
1-2 연구목적 ····· 12

제 2 장 이 론 ····· 14
2-1 압축비 ····· 14
2-2 낙하물의 에너지 보존 ····· 15

제 3 장 실 험 ····· 17
3-1 GMT-Sheet 물성 ····· 17
3-2 시편제작 ····· 22
3-3 인장 실험 ····· 25
3-4 낙하충격 실험 ····· 28

제 4 장 결과 및 고찰 ····· 37
4-1 압축률에 따른 GMT-Sheet인장 ····· 37
4-2 압축률에 따른 GMT-Sheet의 낙하충격 ····· 51

제 5 장 결 론 ····· 53

List of figures

Fig. 1-1 Metood of laminate ····· 9

Fig. 1-2 Illustration df molding process for GMT-sheet····· 9

Fig. 3-1 Illustration of GMT-Sheet joining process····· 19

Fig. 3-2 Nomenclature for slab-shaped part compression molding ···· 20

Fig. 3-3 Configuration of tesil specimen ····· 22

Fig. 3-4 Relationship between temperature and weight of GMT-Sheet 23

Fig. 3-5 Configuration of falling impect specimen ····· 24

Fig. 3-6 Force-Extension curves of example for GMT-Sheet ····· 25

Fig. 3-7 Drop weight system ····· 29

Fig. 4-1 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 2038 (random glass mat 20wt%) ····· 31

Fig. 4-2 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 3038 (random glass mat 30wt%) ····· 32

Fig. 4-3 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 4038 (random glass mat 40wt%) ····· 33

Fig. 4-4 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4038 (unidirectional glass mat 40wt%) 34

Fig. 4-5 Comparison with tensile force and tensile strength of ····· compression ratio U 4238 (unidirectional glass mat 42wt%) 35

Fig. 4-6 Comparison with tensile force and tensile strength of ····· compression ratio U 5038 (unidirectional glass mat 50wt%) 36

Fig. 4-8 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 3.60mm) 39

Fig. 4-9 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 4.06mm) 40

Fig. 4-10 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 4.72mm) 41

Fig. 4-11 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 3.41mm) 42

Fig. 4-12 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 4.70m) 43

Fig. 4-13 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 5.08mm) 44

Fig. 4-14 Force-Displacement curves of P 4038-U 4038 (3.37mm)····· 45

Fig. 4-15 Force-Displacement curves ofP 4038-U 4038 (thick 4.69mm) 46

Fig. 4-16 Force-Displacement curves of P 4038-U 4038 (5.05mm)····· 47

Fig. 4-17 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (3.62mm)····· 48

Fig. 4-18 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (thick 4.63mm) 49

Fig. 4-19 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (thick 5.66mm) 50

List of tables

Table 1-1 Broad classification of plastic composite material ····· 8

Table 1-2 Classification of FRP molding methods ····· 10

Table 1-3 Comparison of properties of reinforcement fibers 11

Table 3-1 Mechnical prpperty of R2038 R3038 R4038 ····· 18

Table 3-2 Mechnical prpperty of U4038 U4238 ····· 18

Table 4-1 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 2038(random glass mat 20wt%) ···· 31

Table 4-2 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 3038(random glass mat 30wt%) ···· 32

Table 4-3 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 4038(random glass mat 40wt%) ···· 33

Table 4-4 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4038(unidirectional glass mat 40wt%) 34

Table 4-5 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4238(unidirectional glass mat 42wt%) 35

Table 4-6 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 5038(unidirectional glass mat 50wt%) 36

Table 4-7 Drop-weight test results to Gmt-Sheet Thickness ····· 52

List of photographs

Photo. 3-1 Fan circulated oven model: El22-1200 ····· 21

Photo. 3-2 Heat press Carver, model 2518 ····· 21

Photo. 3-3 Joined part of STA 1500H ····· 23

Photo. 3-4 UTM for tensile test (Hounsfield, Load Cell 5tonU.K.) ·· 26

Photo. 3-5 Before jig of tensile test ····· 27

Photo. 3-6 After jig of tensile test ····· 27

Photo. 3-7 Jig of Drop weight system ····· 28

Photo. 4-2 P 2038-U 4038 specimen (thick 3.60mm) ····· 39

Photo. 4-3 P 2038-U 4038 spicemen (thick 4.06mm) ····· 40

Photo. 4-4 P 2038-U 4038 spicemen (thick 4.72mm) ····· 41

Photo. 4-5 P 3038-U 4038 spicemen (thick 3.41mm) ····· 42

Photo. 4-6 P 3038-U 4038 spicemen (thick 4.70mm) ····· 43

Photo. 4-7 P 3038-U 4038 spicemen (thick 5.08mm) ····· 44

Photo. 4-8 P 4038-U 4038 spicemen (thick 3.37mm) ····· 45

Photo. 4-9 P 4038-U 4038 spicemen (thick 4.69mm) ····· 46

Photo. 4-10 P 4038-U 4038 spicemen (thick 5.05mm) ····· 47

Photo. 4-11 U 4038-U 4038 spicemen (thick 3.62mm) ····· 48

Photo. 4-12 U 4038-U 4038 spicemen (thick 4.63mm) ····· 49

Photo. 4-13 P 4038-U 4038 spicemen (thick 5.66mm) ····· 50

ABSTRACT

A study on the mechanical properties according to compression ratio of GMT-Sheet

By park, sang su
Advisor : Prof. Lee, Dong-gi Ph.D.
Dept. of Precision Mechanical Engineering,
Graduate School of Chosun University

GMT-Sheet strong point because peculation subject matter the PP which is a materials and the glass-fiber are the pricecomparis on cheap are and the rigidity and tenacity excellent are point.

Recently, the union it is developed the random GMT-Sheet and the one sided direction GMT-Sheet which the UP(gread-unidirec tion gread) which it makes used.

Specially, it combines the inorgaric matter and the organic matter well and the GMT-Sheet which is produced will get near only the bay knows on strength level of thermosetting composite the productivity which is indicated with vulnerability of thermosetting composite, recycle characteristic, the inside shock characteristic back is excellent.

And the strength, the hardness and the chemical resistance which it has a many strong point and thermo plastic with the basic material because of description below currently it is a composite which

the attention it is receiving most from the side of re-application.

With this the application it was becoming larger with the automobile parts to use the quality of the GMT-Sheet application it is coming to be wide even at non-automobile parts.

In this study, GMT-Sheet it is used in the bumper of the automobile it measures the tensile strength which it follows to the random GMT-Sheet and the one sided direction GMT-Sheet each compression ratio. And the random GMT-Sheet and the one sided direction GMT-Sheet it does a high temperature compression press formation together and the tensile strength which it follows in compression ratio it measures.

제 1 장 서 론

1-1 연구배경

고도로 성장한 산업사회에서 기술개발의 한 축을 이루고 있는 것은 재료의 특성에 관한 연구일 것이다. 재료의 특성은 사용 용도별로 분류되지만, 근래에 기술의 발달이 가장 활발히 이루어지는 것 중의 하나가 복합재료이다.

복합재료(composite materials)[1)]는 합금과는 다른 특성을 가지고 있다. 합금은 두가지이상의 금속을 녹여서 분자단위의 결합을 이루는 반면 복합재료는 형태와 화학조성이 다르고 서로 용해되지 않는 2개 이상의 이질·이형의 재료를 접합 또는 조합하며 이때 각소재의 재료가 녹아서 분자단위의 결합이 생기는 것이 아닌 원래의 특성을 유지하면서 다른 성질의 재료를 만들어 원래의 소재에서 얻을 수 없는 뛰어난 특성을 갖는 재료를 말한다. 이러한 복합재료 중에서 비강도(인장강도/ 도), 비강성(탄성율/밀도)이 높은 플라스틱 재료를 모재(matrix)로 하고, 섬유화된 소재로 강화한 섬유강화 플라스틱 복합재료(Fiber Reinforced Plastics : FRP)가 있다.

최근에는 항공·우주기기의 주요한 구조부재에 복합재료의 적용화가 진행되어 감에 따라서 설계요구도 고도화 되었고, 이를 개선한 재료로서 내 충격성, 파괴인성, 피로강도 특성이 뛰어난 열가소성 고분자 복합재료가 등장하였으며, 국내외에서 재료의 개발·개질 및 가공기술의 개발이 활발히 진행되고 있다. Table. 1-1은 플라스틱 수지를 모재로한 복합재료에 대해 간략히 분류한 것이다

이 복합재료는 모재인 플라스틱의 종류에 따라서 열경화성 플라스틱, 열가소성 플라스틱 복합재료로 나눌 수 있는데 종래의 플라스틱 복합재료는 열경화성 수지를 모재로 하는 성형품이 대부분이었으나 재생, 폐기물처리 등과 같은 환경문제가 대두되고 있고 있다. 오늘날 급속히 성장하고 있는 각종 플라스틱 복합재료(FRP 혹은 강화 플라스틱, advanced composites, 이하 복합재료라 한다)

산업으로부터 발생하는 복합재료 폐기물의 종류는 자동차 부품, 욕조, 물탱크, 건축조형물, 선박, 산업용 부품, 스포츠/레저용품, PCB(Printed Circuit Board), 항공/우주용 제품 등이 있다.

복합재료는 내 부식성과 재활용(recycling)을 위한 경제성 문제와 관련 깊은 구성재료 및 크기의 상이, 금속부품과의 혼용, 사용 후 오염정도 등의 때문에 주요 처리 방법을 매립에 의존하게 된다. 국내의 유리섬유 생산량이 60,000톤/년, 카본섬유가 600톤/년, 그리고 수지가 75,000톤/년 이상 되며 국내의 생산량은 세계의 약 1/15정도이어서 이 많은 양이 폐기될 때 적절한 방법으로 처리할 수 없으면 심각한 환경 문제가 됨을 쉽게 상상할 수 있다. 현재에는 비록 매립에 의한 처리 방법이 저렴할 수 있으나 미래에 한결 규제와 매립지의 부족으로 인한 폐기물 처리비용은 점차로 증가하여 제품의 생산원가에 영향을 받을 것이 분명하므로 이에 대비하는 것이 중요하다.

최종 매립과 관련된 폐기문제는 다른 각도에서 고찰되어야 하며 계속적으로 생산량이 늘어나는 상황에서 복합재료의 재활용 문제는 최종적으로 폐기되는 복합재료의 양을 줄이는 개념에서 출발한다. 모재가 고분자 제품이므로 기존 플라스틱 계열 제품의 재활용 기술을 응용할 수 있지만 섬유강화 복합재료 부품은 여러 다른 특성의 재료로 구성되어 있기 때문에 재활용이 보다 어렵다. 따라서 재활용에 관련된 문제에는 크게 두 가지 문제점이 있다. 한 가지는 복합재료의 특성을 살려 재활용할 수 있는 이 기술적일 문제점을 해결하는 것이고, 다른 하나는 모든 재활용 문제에 공통적으로 적용되는 폐기물을 효과적이며 저비용으로 수거하는데 있다. 즉, 두 번째 문제는 복합재료에만 국한된 문제는 아니고 환경보존과 관련된 대부분의 자원의 재활용적인 면에서 공통적으로 해결해야 하는 문제이다.

선진국의 경우에도 복합재료 제품의 재활용 문제에 구체적인 사업을 전개하기 시작한 것은 오래되지 않았다. 따라서 사용된 복합재료 제품의 재활용을 위한 필수적인 수거 및 분류를 체계적으로 할 수 있는 재활용 시스템이 제대로 갖추어져 있지 않는 상태이다. 하지만 미국, 일본, 캐나다 및 독일 등이 가장 적극적으로 연구하고 있으며 복합재료 폐기물을 이용한 2차 제품 재활용

(secondary recycling)은 다른 플라스틱 재료와의 가격 경쟁에서 경쟁력이 떨어지므로 연구방향은 1차 제품(primary recycling)에 중점을 두고 있다.

미국의 경우는 복합재료의 최대 생산 및 사용국으로서 대량의 레크레이션 보트 및 자동차, 각종 탱크류, 건축자재 등의 생산 중 혹은 사용 후 폐기물이 대량 발생하는데 대한 체계적인 재활용 시스템을 구축하여 가장 활발하게 재활용이 진행된다고 판단된다. 그 한 예로 강력한 환경보호 정책의 영향으로 폐기된 자동차의 부품의 재활용 문제와 결부되어 자동차용 복합재료의 재활용에 보다 관심을 지난 80년대부터 갖게 되었다. 구체적인 노력의 결과가 자동차 회사들이 주축이 된 Vehicle Recycling Parternership(VRP)과 SMC Automotive Alliance(SMCAA)이다. 이 단체들과 General Motors 社가 SMC와 BMC 재료의 재활용 문제를 주도하고 있다.[2,3,4)]

일본의 경우는 1970년초부터 복합재료 폐기물(reinforced plastic waste)에 관심을 갖기 시작했으며, 1985년 이후 국립연구소에서 구체적인 처리방법을 연구하기 시작했다. 이에 따라서 RP Waste Recycling & Treatment Council이 조직되었으며 연구사업은 복합재료 선박(RP ship)같은 대형 구조물의 재활용부터 시작되어 Pilot plant가 설치되어 수년간 실험을 거쳤다. 최근 경제적으로 수거/재활용을 하기 위하여 현장 절단(on-site cutting)후 처리할 수 있는 절단기계를 설계/제작하고, 이동식 열분해 장치(trailer loading pyrolysis furnace or trailer loading incineration rotary kiln)를 제작 후 운영하고 있다.[5,6,7)]

열가소성 자동차용 부품의 경우 조각내기(shedding) 방법을 이용해서 타 재료의 부재료로서 사용이 가능하나 일반 플라스틱 제품의 수거와 같은 Infrastructure를 구축해야 하므로 폐기된 자동차에서 쉽게 구분할 수 있도록 자동차 제조사의 적극적인 협조가 필요한데, Nissan & Fuji Heavy Industrial에서 범퍼(bumper)의 재활용이 쉽도록 자동차 대리점을 통해 수거하는 작업에 협조하기로 하는 등의 구체적인 움직임이 있다.

독일의 경우는 유럽에서 가장 적극적인 노력을 기울이고 있으며, 많은 SMC 관련회사들이 주축이 되어 ERCOM Composite Recycling 단체를 1990년에 결성하였다. 실험적으로 해오던 재활용 연구를 1991년에 SMC/BMC 스크랩과 부품을 재

처리하기 위한 생산시설(production scale facility)을 지었다. ERCOM은 이동식 분쇄트럭과 집중식 분류 혹은 분해 설비를 갖추고 처리된 재활용 재료를 SMC/BMC 회사에 다시 매매할 수 있도록 일원화된 시스템을 개발하였다.[8,9,10,11)]

캐나다의 경우는 최근까지 다른 나라들과 마찬가지로 열가소성수지 제품들을 재활용에 대한 Pilot plant 등의 가동을 거친 후 수개의 회사가 상업용 재활용 재료를 만들어 내고 있다. 주로 충전재(filler), resin extend 및 장/단 유리 섬유가 생산되고 있다. 이들 회사들이 사용하는 원재료, 즉 폐기 복합재료의 출처는 SMC, 필라멘트 와인딩(filament winding), 펄트루전(pultrusion), 핸드레이업(hand lay-up) 등의 폐기물 및 폐기된 electronic circuit board 등이다.[12,13)]

대형 구조물에 사용되는 복합재료는 대개 Polyester계 수지를 모재로하므로 양적인면에서 볼 때 Glass/Polyester-vinylester계가 가장 많고, Glass/Epoxy, Glass/Phenoli Carbon/Epoxy 등의 순이다. 선진국에서 복합재료의 재활용과 관련된 연구 활동을 살펴보면 자동차용 복합재료의 예가 많이 발견된다. 그 중에서도 SMC의 재활용이 대표적인 예로서 많이 언급되고 있다. 그 이유는 자동차용 SMC가 재활용을 연구할 수 있는 투자능력이 있는 대기업이 관련된 업종이며, 재활용과 관련된 회사 이미지 재고, 대량생산이 이루어지는 품목이므로 경제성이 있을 수 있다는 점이다. 따라서 이 SMC와 관련되어 고찰되는 내용이 타 종류의 복합재료의 재활용에도 그대로 혹은 변화시켜 응용할 수 있을 것이다.

저밀도 polyethylene 혹은 polypropylene(이하 PP라 한다)[14)]과 같은 열가소성수지의 경우 가열에 의하여 용융시켜서 재사용이 가능하다. 하지만 열가소성수지의 물성의 열화 및 강화섬유의 길이가 감소됨으로서 물성 저하가 발생한다. 1차 제품 재활용(primary recycling)을 위해서 Polymer additive나 유리섬유를 첨부시키는 방법이 있다.

이와는 달리, 구조용으로 사용되는 배열된 보강섬유가 포함된 열가소성 복합재료를 물리적인 방법에 의해서 동일한 품질을 가진 원재료로 전환하거나 플라이(ply)의 배열을 바꿀 수는 없다. 따라서 기계적인 분쇄, 가열 및 가압을 통하여 저급 제품의 주재료로서 활용이 가능하다. Graphite/PEEK 적층판의 경우 잘게 부순 후 압축성형에 의하여 다른 제품을 성형할 수 있는 주재료로서 사용

이 가능하다. 아직 연구 단계에 있지만 열가소성 수지를 분해해서 수지와 섬유를 분리 해내는 방법이 연구되고 있다 이 방법은 유기 고분자 물질을 원래의 모노머로 분해시키는 과정을 말한다. Purification과 Polymerization 기술을 이용하여 원래의 고분자 물질로 변화시키게 된다. 분리된 유리 섬유는 처리 없이 보강 섬유로 사용 가능하며, Coupling agent로서 재처리하기도 한다.[3,15)]

열가소성 및 열경화성 복합재료의 구분을 떠나서 소비자에 의해서 사용 후 폐기된 복합재료 부품 혹은 제품의 재활용 문제는 보다 어려운 기술적 및 경제적인 면을 갖고 있다. 수집 및 분류 등의 문제가 해결된다 하더라도 기름, 페인트, 금속 삽입물 등의 이물질이 적절히 제거되어야 고품질의 재활용을 위한 처리 방법을 적용할 수 있을 것이다. 즉, 금속 부착물의 분류를 위한 방법의 개발, 오염된 복합재료의 처리 방법 등이 해결되어야 한다. 따라서 제품 제조 시 재료를 구분할 수 있는 코드(code)를 포함시키는 방법도 고려할 수 있다.[4,16,17)]

폐기물 중에서 주요 대상은 유리섬유이다. 장섬유와 단섬유가 적절한 공정을 통하여 회수된다. 수지와 섬유가 화학적인 방법에 의하여 분리될 때 최초의 용도대로 재사용까지 가능하다. 처리과정에서 섬유 표면이 손상을 입게되면 물성이 저하되므로 재 표면처리를 할 수 있다. 단섬유의 경우 반복된 재사용으로 섬유길이의 감소 등으로 인한 물성을 보강하기 위하여 원 섬유를 더하여 사용한다.

약 1500℃ 이상에서 유리섬유는 재 용융되어 새로운 섬유로 만들 수 있다. 재 용융시 유리는 최초의 무정형 구조로 돌아가서 연신 과정을 거쳐 다른 형태의 재사용 처를 찾을 수 있다. 폐 유리섬유의 단순 매립은 심각한 토양오염과 수질오염으로 인체에 해가될 수 있으므로 다른 형태의 폐기 방법을 연구해야 한다. Advanced composites에 사용되는 케블라, 탄소섬유 및 보론 섬유 등은 유리섬유에 비해 비싸므로 재사용이 보다 매력이 있다. SMC 내의 유리섬유의 분리와 비슷한 화학적 접근 방법이 가능하지만 구체적인 연구결과는 발표되지 않고 있는 상황이다. 하지만 유리섬유와는 달리 산소 존재 하에서 연소 가능하므로 이에 상응하는 폐기물 처리 방법을 이용할 수 있다.

각종 플라스틱 복합재료 중에서도 열가소성 수지를 모재로 한 재료는 재생이용이 가능하고 최종처리로서의 소각도 용이하기 때문에 그 활용방법이 주목되

고 있다. 이 재료는 비중이 작기 때문에 구조 부품의 경량화에 유효하고 비강도, 비강성, 충격강도 등의 기계적 특성이 뛰어나며, 열가소성 수지계의 복합재료이므로 내식성 및 생산성이 뛰어나기 때문에 최근 자동차의 연비개선과 경량화의 추세에 힘입어 그 용도의 확대가 기대되고 있다. 플라스틱 복합재료는 강화재의 추세에 힘입어 그 용도의 확대가 기대되고 있다. 플라스틱 복합재료는 강화재의 종류와 형태에 따라 기계적 물성이 심각히 변화한다.

특히, 섬유강화 플라스틱 복합재로 사용하고 있기 때문에 각부의 강도 및 치수의 정밀도가 안정되어 있는 것이 특징이며, 단섬유로 보강된 사출성형품과 달리 방향성이 거의 없는 성형품을 얻을 수 있다. 섬유강화 플라스틱 복합재료 중에서 일반적으로 이용되고 있는 스템퍼블 시이트(stampable sheet)는 열가소성 수지(주로 PP)를 기지재료로 하고, 강화재로서는 랜덤하게 배향된 유리 장섬유매트 혹은 촙트 스트랜드(chopped strand) 유리섬유를 사용하고 있기 때문에 강도의 방향성이 없는 것이 특징이다.

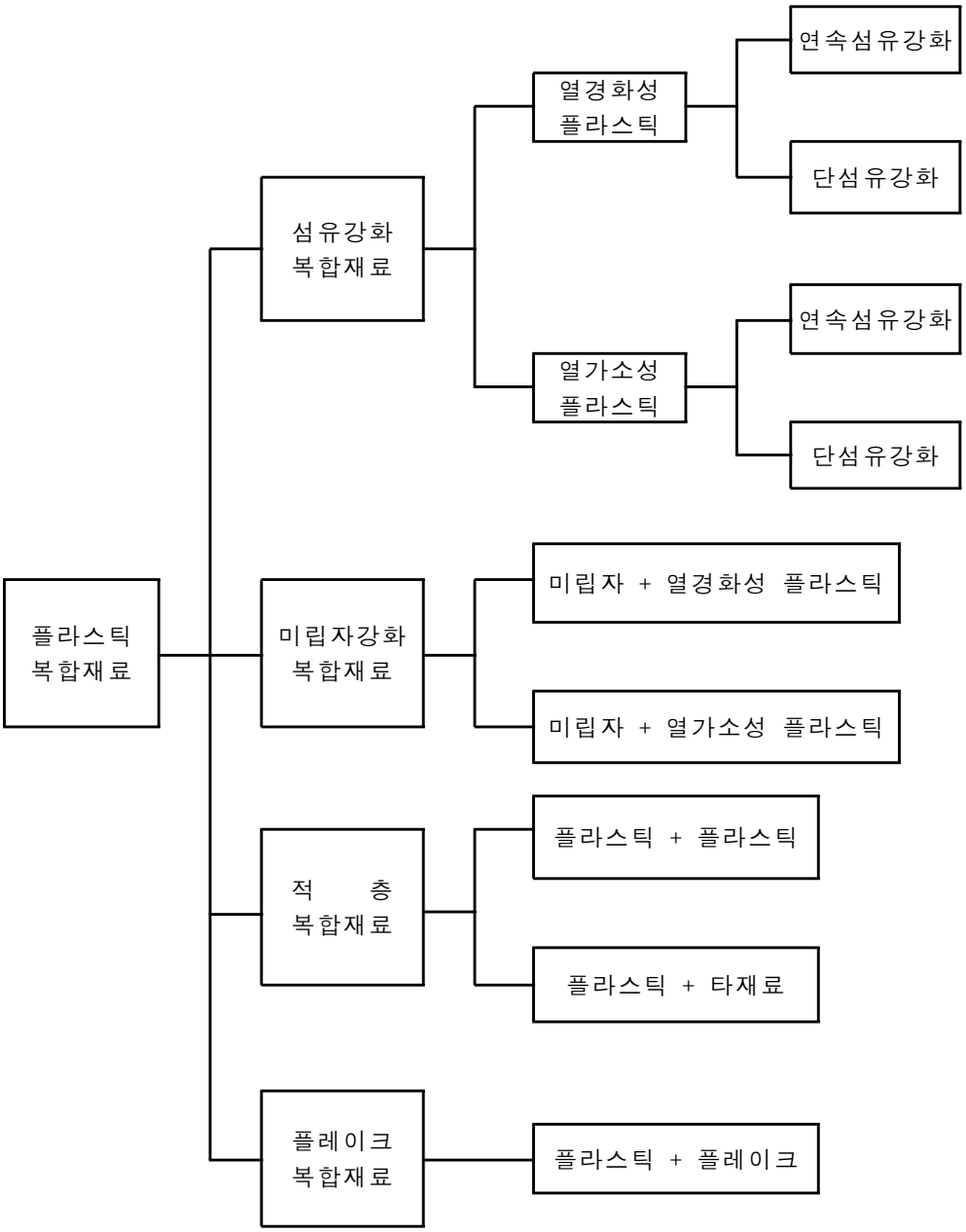
그러나 자동차 등의 구조부재에 요구되는 특성으로서는 어느 특정한 방향으로 강도가 필요한 경우가 많다. 그와 같은 요구에 대응하기 위해서 강도에 방향성을 부여한 스템퍼블 시이트가 있다. 한방향 섬유강화 플라스틱 복합판은 유리 장섬유가 랜덤하게 배향되어 있는 랜덤매트와 한 방향으로만 배향되어 있는 유리 장섬유를 조합시킴으로서 강도의 방향성을 부여한 것이다. 일반적인 스템퍼블 시이트와 비교하여 거의 동등한 성형가공성을 나타내고 있으며, Fig. 1-1에서는 더블벨트프레스를 이용하여 장섬유 유리매트에 PP를 가열 함침한 후 냉각시켜 연속적으로 GMT-Sheet를 생산하는 방법으로서, 대표적인 제조업체로는 GE plastic(AZDEL)[18,19], BASF(Elastogram)[20] 등이 있다.

Fig. 1-2는 GMT-Sheet의 성형 설비를 나타낸 것으로 가열 오븐과 프레스로 구성되어 있으며, 성형공정은 시이트의 재단, 가열, 프레스 성형, 후가공의 순으로 진행된다. 함침성형은 열경화성 플라스틱복합재료(FRTS)에, 유동성형은 열가소성 플라스틱 복합재료(FRTP)와 SMC 및 GMT-Sheet에 적용된다. 합침 성형은 유동성형과 비교하면 섬유길이와 섬유함유량을 크게 할 수 있으므로 강도와 강성이 비교적 높은 편이지만 생산성, 작업환경, 부품의 치수 정밀도, 성형부품의

균질성 등의 면에서 보면 유동성형이 월등히 우수하다. 또한 유동성형법은 금형 내에서 재료가 유동하므로 성형품의 두께에 상당한 변화를 줄 수 있으므로 성형의 자유도가 크고 복잡한 형상의 부품성형이 가능하므로 생산비도 낮아 고온 유동 성형에 대한 활용도가 더 크다. 한편, 섬유강화 플라스틱 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법은 Table 1-2와 그리고 Table 1-3은 상업적으로 구입이 가능한 강화 섬유의 종류와 기본 물성치를 나타내고 있다.

강화재의 구조를 갖는 복합재를 열간에서 압축 성형하는 경우의 유동특성을 파악하기 위해서는 여러 가지 성형공정 인자들의 변화에 대한 금형 내에서의 충전상태, 강화재인 섬유의 배향 및 섬유함유율 분포 등의 예측 및 제어가 필요하다. 또한 보다 실제적인 유동상태를 알기 위해서는 복합재의 섬유함유율 분포측정이 불가결하며 각종 성형조건 및 복합재의 섬유함유율과 접합조건과의 관계를 명확히 확립하는 것은 최적 성형조건의 결정이나 뛰어난 성형품을 얻기 위해서 매우 중요하다.

Table 1-1 Broad classification of plastic composite material



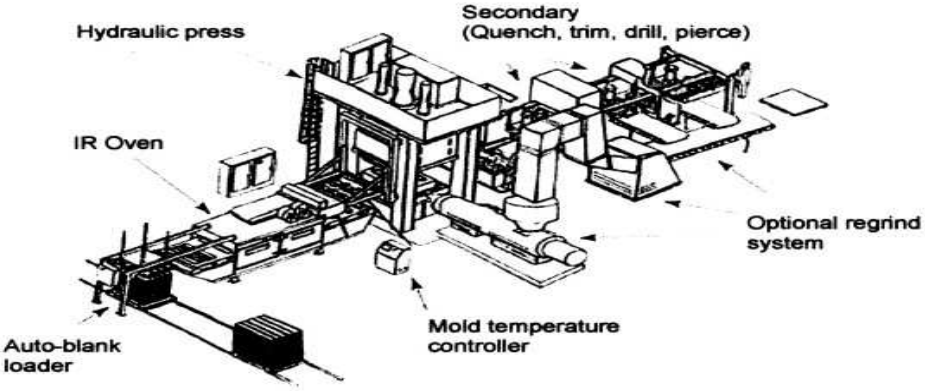
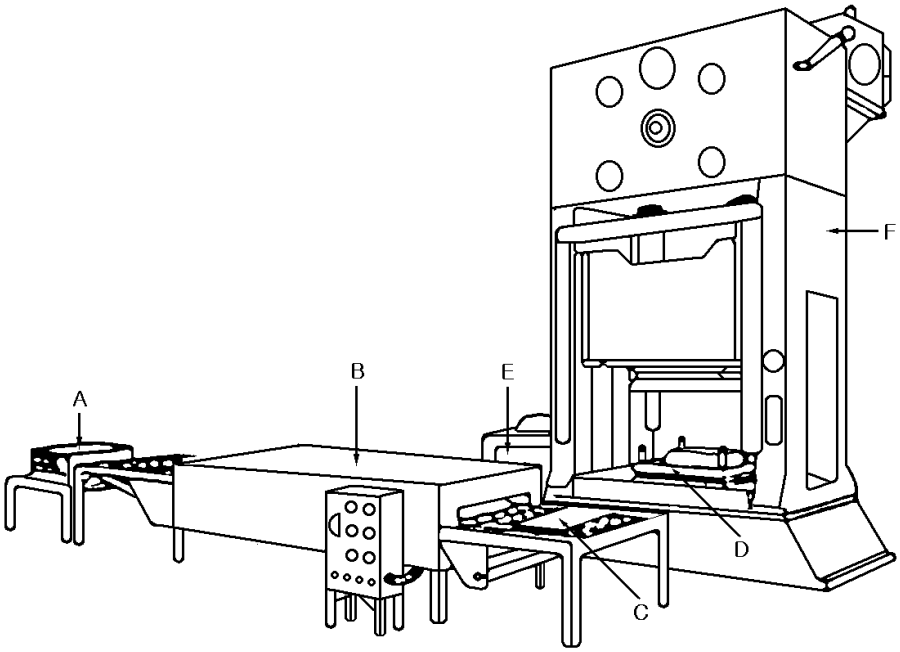


Fig. 1-1 Method of laminate



A:Blank B:Heating device C:Hot blank D:Dies E:Dies cooling system F:Press

Fig. 1-2 Illustration of molding process for GMT-sheet

Table 1-2 Classification of FRP molding methods

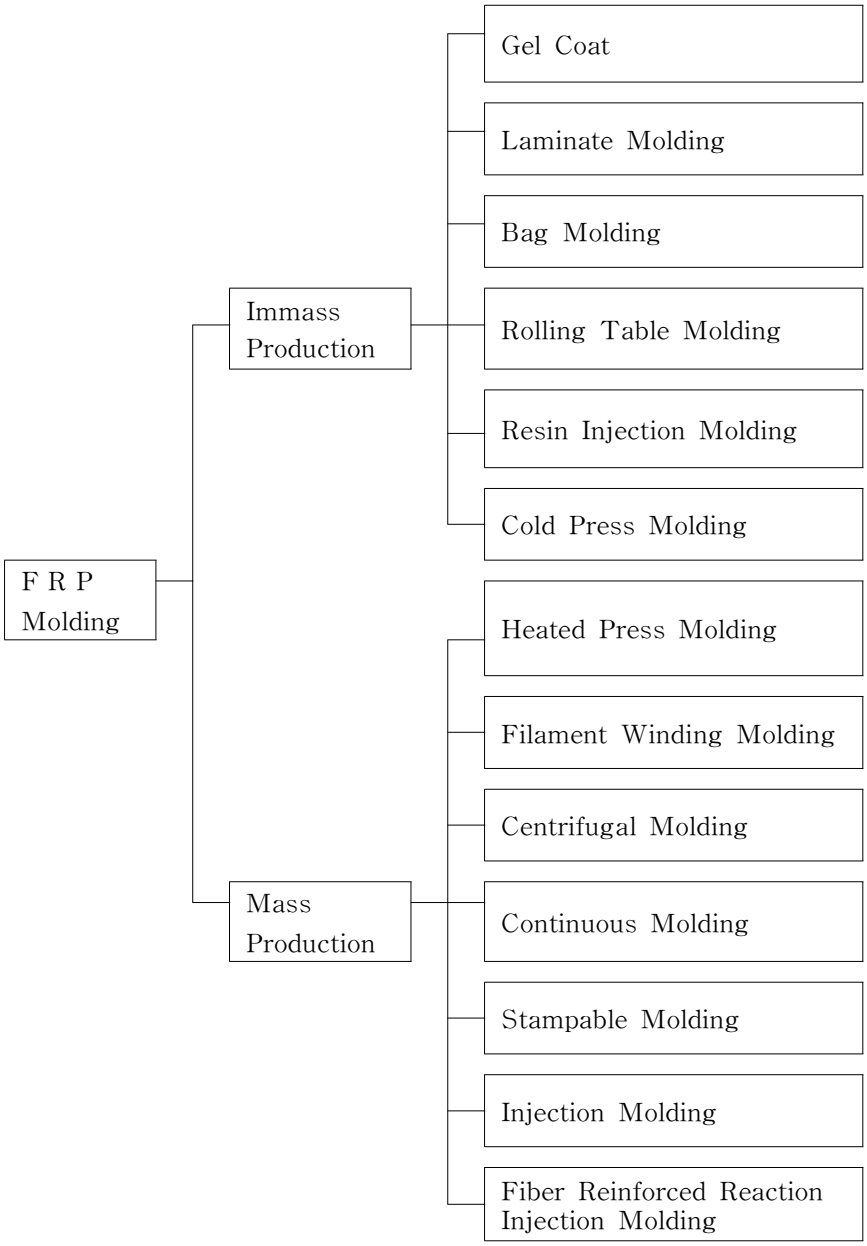


Table 1-3 Comparison of properties of reinforcement fibers

Fiber / Property	Glass		PAN-carbon			Kavlar 49 (Dupont)
	E-glass	S-glass	T-300 (Amoco)	AS (Hercules)	T-40 (Amoco)	
Typical diameter (μm)	10 (round)	10 (round)	7 (round)	7 (round)	6 (round)	11.9 (round)
Specific gravity (g/cm^3)	2.54	2.49	1.76	1.77	1.81	1.45
Tensile modulus GPa(10^6psi)	72.4 (10.5)	86.9 (12.6)	228 (33.5)	220 (32)	276 (40)	131 (19)
Tensile strength GPa(10^3psi)	3.45 (500)	4.30 (625)	3.2 (470)	3.1 (450)	5.65 (820)	3.62 (525)
Failure strain (%)	4.8	5.0	1.4	1.2	2.0	2.8
Coefficient of thermal expansion (10^{-6}m/m℃, 0-100℃)	5	2.9	-0.1 to -0.5 (longitu-dinal) 7 to 12 (radial)	-0.5 to -1.2 (longitu-dinal) 7 to 12 (radial)		-2 (longitu-dinal) 59 (radial)
Poisson's ratio	0.2	0.22	0.2			0.35

1-2 연구목적

GMT-Sheet(Glass Mat reinforced thermoplastic-Sheet)는 플라스틱 복합재료로써 모재와 강화재로 구성되어지고 고분자 물질을 기지로 하는 재료로써 기지의 높은 감쇠 특성과 유리섬유의 비강도를 동시에 가지고 있어 높은 비강도와 비강성을 함께 가지고 있으므로, 구조재료로 사용할 경우에 외부의 요인에 의한 진동이 발생될 경우 쉽게 진동을 흡수한다. 일반적인 재료인 강철이나 알루미늄은 등방성 물질이나 복합재료는 이방성 물질이므로 섬유방향으로 가장 높은 강성과 강도를 나타낸다.

이러한 GMT-Sheet의 성질은 모재의 성질에 의존하는 것이 당연하지만, 강화재인 섬유함유율과 배향상태, 섬유엉킴상태, 섬유매트구조, 섬유길이 등에 따라서 물성이 크게 변화한다. 그러므로 플라스틱의 섬유함유율에 따른 섬유배향상태를 밝혀두는 것은 재료설계, 성형조건의 결정, 기계적 특성 등을 예측하는데 있어서 선결되어야 하는 가장 중요한 요인이다. 이들 요인들의 영향으로 인한 기계적 성질 저하나 파괴거동에 대한 예측기술을 확립하기 위하여 플라스틱 복합재료의 인장 및 충격특성을 고찰함으로써 이들 요인과의 상관관계에 대한 연구가 필요하다. 인장 및 충격강도에 영향을 미친 인자로는 섬유함유율, 섬유방향, 섬유의 형상, 기지의 특성 등이 있으며, 이를 연구한 연구결과를 살펴보면 Lee 등은[22] 섬유강화 고분자 복합재료에서 섬유배향상태에 따른 기계적 성질에 대해서 연구를 수행하였으며, Ji 등은[23] 멀티스케일 모델링에 의한 복합재료 평판의 충격해석을 하여 평판에서 충격을 준 부분의 영향부와 그 특성을 모델을 제시하여 복합재료의 강도적인 해석을 연구하였다. 또한, Sova 등은[24] 유리섬유와 PP수지를 사용한 단섬유 복합재료의 충격파면은 섬유방향에서 복합적인 파괴와 파편에 의해 형성되는 거시적인 파괴를 보인다고 하였으며, Kim

등은[25] 경사충돌에 의한 복합재 적층쉘의 관통특성을 연구하였으며, Lim 등은[26] 저속충격 하에서 CFRP 복합적층판의 낙추 충격 특성과 파괴기구의 낙하속도를 통한 적층판의 충격부의 변형과 파괴적인 특성을 연구하였다. 또한, Sim 등은[27] 섬유배향과 모재가 다른 CFRP 적층판의 충격손상과 굽힘 잔류강도를 연구하였으며, Novak등은[28] 샤르피 충격시험을 통하여 섬유의 인장응력 변형특성이 충격저항을 결정짓는 중요한 요소라고 하였다.

이와 같은 연구결과들을 보면 복합재료의 이론적인 접근 모델을 제시하거나 섬유배향에 따른 인장강도의 변화나 수지와 강화재의 계면과 온도에 따른 특성들에 그 연구가 한정되어 있다.

본 연구에서는 섬유함유율에 따라 GMT-Sheet 시험편에 인장 및 낙하 충격시험을 행하여 균열의 개시와 균열의 성장에 의한 에너지를 충격과정 동안 흡수된 에너지를 통하여 장섬유와 단섬유에 대하여 섬유함유율이 어떠한 상관관계를 갖는가를 고찰하였다.

제 2 장 이 론

2-1 압축비

고온·압축 프레스 접합성형시 Fig. 3-1과 같이 시험편을 배열하고, 재료의 흐름은 Fig. 3-2와 같이 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 되게하여 초기두께 h_o를 h까지 압축한 경우의 압축비 R_{cr}은 식(1)과 같이 정의 한다[29].

$$R_{cr} = 1 - \frac{h}{h_o} \tag{1}$$

여기서 h : 접합성형후의 두께

h_o: 접합성형전의 두께

단면에 작용하는 평균 수직응력의 계산식은 식(2)와 같다 .

$$\sigma_{(tensile)} = \frac{P_{(tensile)}}{b \cdot t} \tag{2}$$

여기서 σ : 최대 인장응력(MPa)

p : 최대 하중(N)

b : 시험편의 폭(m)

t : 시험편의 두께(m)

$_{(tensile)}$: 인장

2-2 낙하물의 에너지 보존

위치 에너지 (Potential Energy)

초기 높이 y_i에 있는 질량 m인 낙하물체를 y_j를 지나 지면에 도달 하였을 때, 공기저항은 무시하고 낙하물체를 일하게 하는 힘은 오직 중력 mg라고 하고, 낙하체가 d만큼 떨어졌을 때 중력이 한일은 아랫방향 힘 mg와 변위의 곱으로 주어진다.

$$w_g = (mg) \cdot d = (-mgj) \cdot [(y_f - y_i)] = mgy_i - mgy_f \tag{3}$$

mgy를 중력 퍼텐셜에너지 로 표현하면,

$$U_g = mgy \tag{4}$$

충격량

힘 F가 작용하는 물체에 대하여 시간에 따른 변화량이 있을때 뉴튼의 제 2 법칙에 따라 F = dp/ dt 이다. 이 식을 적분하여 시간 t_i 일 때 P_i로부터 시간 t_f일 때 P_f로 바뀔 때 물체가 가진 운동량의 변화를 구하여 적분하면

$$\triangle P = P_f - P_i = \int_{t_i}^{t_f} F\, dt \tag{5}$$

힘을 작용하는 시간동안 적분한 양을 그 힘의 충격량(impulse) 이라고 한다.

시간간격 $\Delta t = t_f - t_i$에 대한 힘 F의 충격량은 다음과 같이 정의된 벡터이다.

$$I = \int_{ti}^{tf} F\,dt = \Delta P \tag{6}$$

흡수에너지(Absorbed Eneggy)

충격 후 물체가 가지는 에너지이며, 낙하 충격실험에서 하중-변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고, 하중 변위 선도를 적분하여 시험편 내에 흡수된 흡수 에너지량을 구하였다.

$$E_\alpha = \int_0^s P\,d\,S \tag{7}$$

E_α는 시험편에 흡수된 에너지, P는 충격하중, S는 변위를 나타낸다.

에너지 보존에 의하여 직선으로 낙하하는 물체가 어느 지점에서 충돌하였다면, 충돌한 물체는 낙하하는 동안 물체가 가진 에너지만큼의 에너지를 받게 된다. 단, 마찰 ,열등으로 손실되는 에너지는 무시 했을때, 에너지 보존법칙이 성립한다.

$$U_g(\text{퍼텐셜 에너지}) = E_\alpha(\text{흡수 에너지}) \tag{8}$$

제 3 장 실 험

3-1 GMT-Sheet 물성

실험에 사용한 재료는 시판되고 있는 미국 AZDEL사 제품으로서 두께 h_0가 3.8 mm인 GMT-Sheet 중 랜덤 유리섬유매트(모재 : Polypropylene,강화재 : random glass mat)로 강화한 섬유함유율이 20wt% 30wt% 40 wt%인 P2038 P3038 P4038와 방향성이 있는 유리섬유매트(모재 : Polypropylene,강화재 : unidirectional glass mat)로 강화한 섬유함유율이40wt% 42wt%50wt%인 U4038 U4238 U5038을 사용하였다. Table. 3-1과 Table. 3-2는 랜덤재와 한방향재의 물성을 나타낸 표이다.

랜덤 GMT-Sheet의 경우 함유율이 증가할수록 인장응력의 증가폭이 각각 7Mpa 30Mpa정도로 큰 차이를 보이지 않고 있다. P4038과 U4038의 경우 함유율은 갖지만 인장응력을 보면 U4038이 3배 정도 크다는 것을 알 수 있다. U4238에서 가로 방향과 세로 방향의 차이는 4배정도 차이를 보이고, U4038과 U4238의 가로 방향 인장응력에서 함유율이 낮은 U4038이 인장 응력값이 크게 나타나며, 이유는 강화재의 배열은 인장력의 역방향이므로 모재의 함유율이 지배적이기 때문에 상대적으로 모재의 함유율이 높은 U4038이 높게 나타남을 알 수 있다.

Table 3-1 Mechnical prpperty of R2038 R3038 R4038

Specimen	Test	Unit	P2038	P3038	P4038
Thickness		mm		3.8	
Glass fiber content		%	20	30	40
Tensile strength	Iso 527	Mpa	53	60	90
Tensile E-modulus	Iso 527	Mpa	3000	4300	5600

Table 3-2 Mechnical prpperty of U4038 U4238

Specimen		Test	Unit	U4038	U4238
Thickness			mm	3.8	
Glass fiber content			%	40	42
Tensile strength	Longitudinal	Iso 527	Mpa	250	276
	Transverse	Iso 527	Mpa	80	60
Tensile E-modulus	Longitudinal	Iso 527	Mpa	9300	10100
	Transverse	Iso 527	Mpa	5800	5310

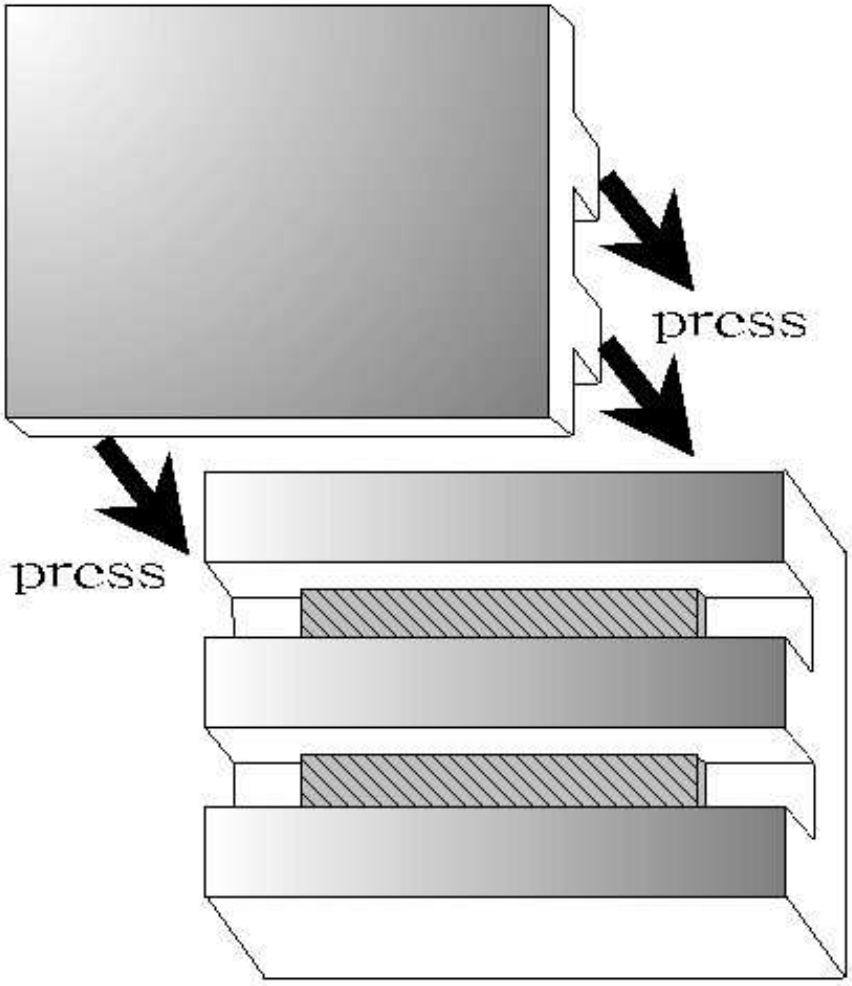


Fig. 3-1 Illustration of GMT-Sheet pressing process

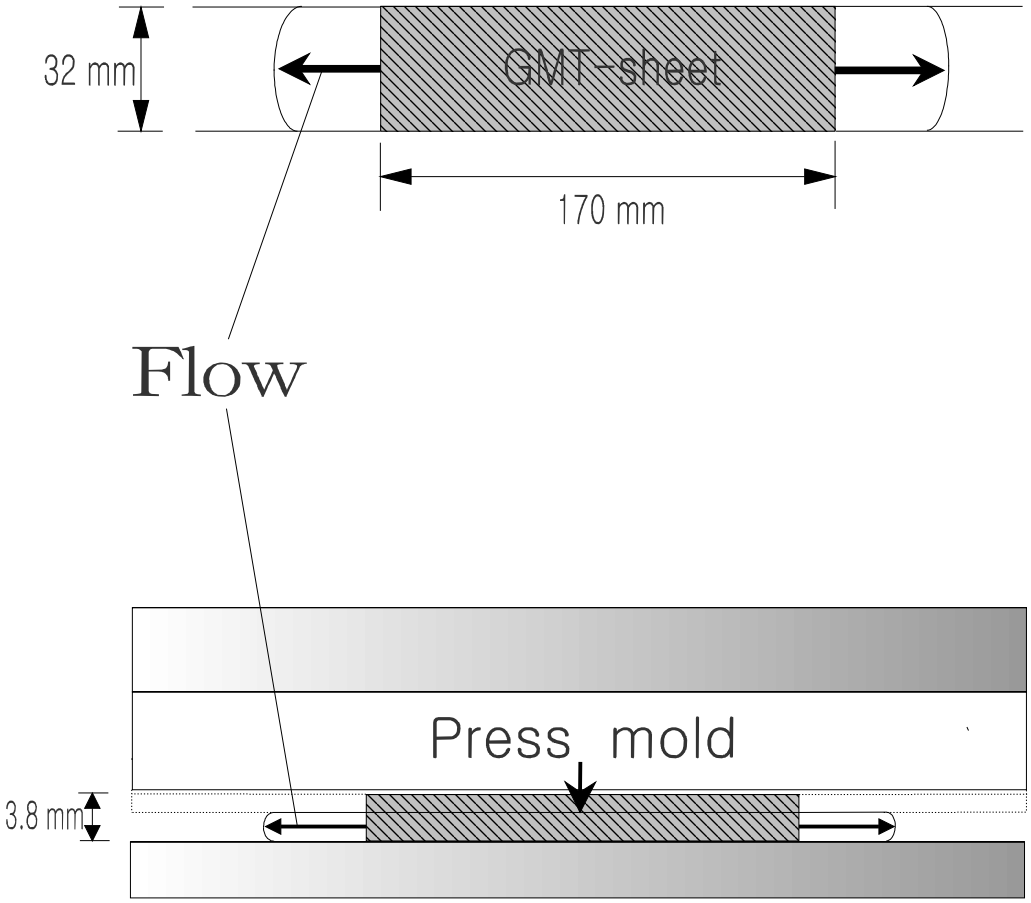


Fig. 3-2 Illustration for slab-shaped part compression molding

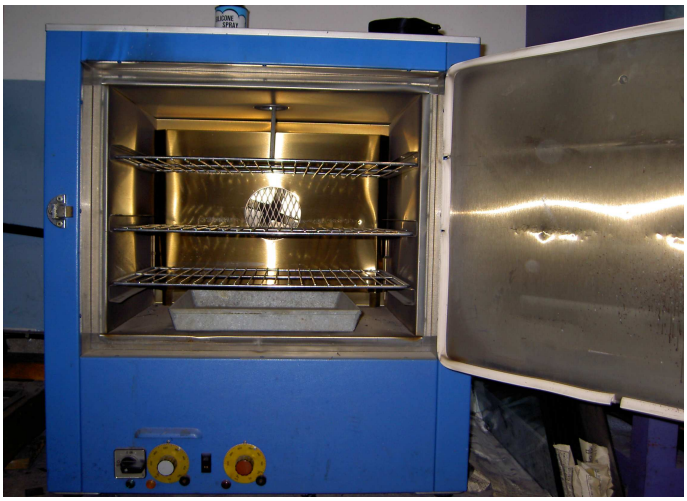


Photo. 3-1 Fan circulated oven model: El22-1200

Photo. 3-2 Heat press Carver, model : 2518

3-2 시편 제작

인장 시편제작

인장 실험에서 1차 가공을 하기 위하여 GMT-Sheet를 32mm(폭) × 170mm(길이)×3.8mm(두께) 규격으로 절단하였다. 절단에는 다이몬드 커터(Beuhler, model :Powermat 2000)를 사용하였다.

GMT-Sheet의 최적성형온도를 얻기 위해서 Photo. 3-3의 STA 1500H로 온도에 따른 재료의 열적 특성을 측정하였다. 그 결과 GMT-Sheet 내 폴리프로필렌은 Fig. 3-4와 같이 272.40℃에서 질량이 변화하기 시작하기 때문에 본 실험에서 성형온도는 200℃로 하여 열 압축성형 하였다. 이 열 압축성형시 GMT-Sheet를 Photo. 3-1가열용 전기오븐에서 200℃의 온도로 25분간 가열하여 Fig. 3-1과 같이 금형에 충전한 후 Fig. 3-2와 같이 프레스 압축성형 하였다. 금형 캐비티의 치수는 32 mm × 300 mm로 하고, 가압장치는 Photo. 3-2 25톤 유압 열 압축 프레스(Carver, model : 2518)를 사용하였으며, 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판 히터를 사용하였다[35]. 성형조건에서 블랭크와 금형온도는 200℃로 동일하게하고 프레스 압축속도는 10 mm/min로 동일하게 하였다. 압축두께는 금형사이에 두께가 0.3mm인 스테인리스 판재를 삽입하여 시험편의 두께를 조절하고, 각각의 시험편은 1.2mm에서 3.6mm 까지 0.3mm간격으로 제작하였다. 압축률에 따라 고온 압축 프레스 가공된 시험편은 ASTM D638의 규격을 고려하여 Fig. 6과 같이 폭 12.7mm 전체길이 152.4mm 표점거리 76.2mm로 제작하였다.

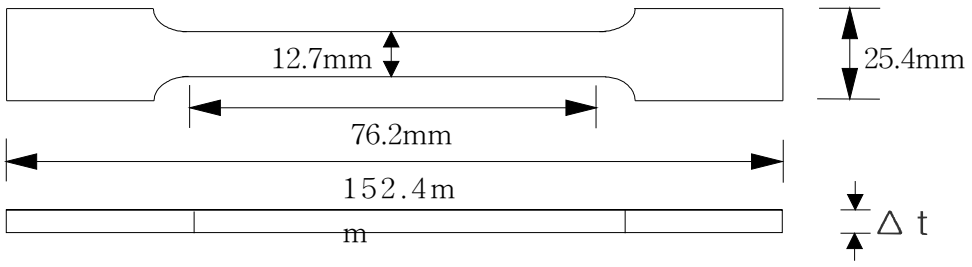


Fig. 3-3 Configuration of tensile specimen

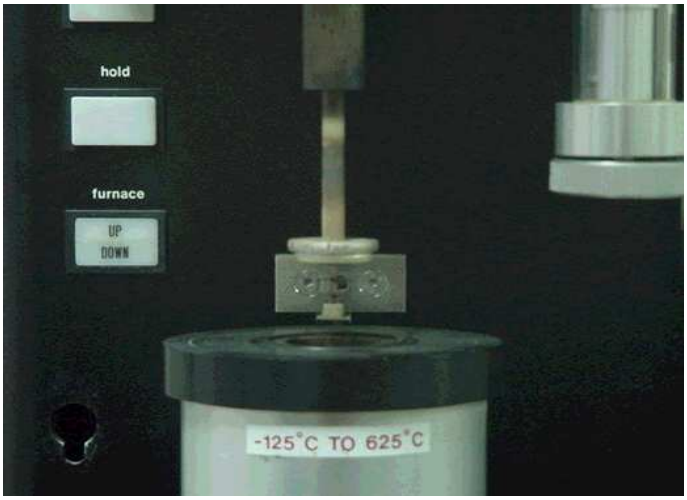


Photo. 3-3 Joined part of STA 1500H

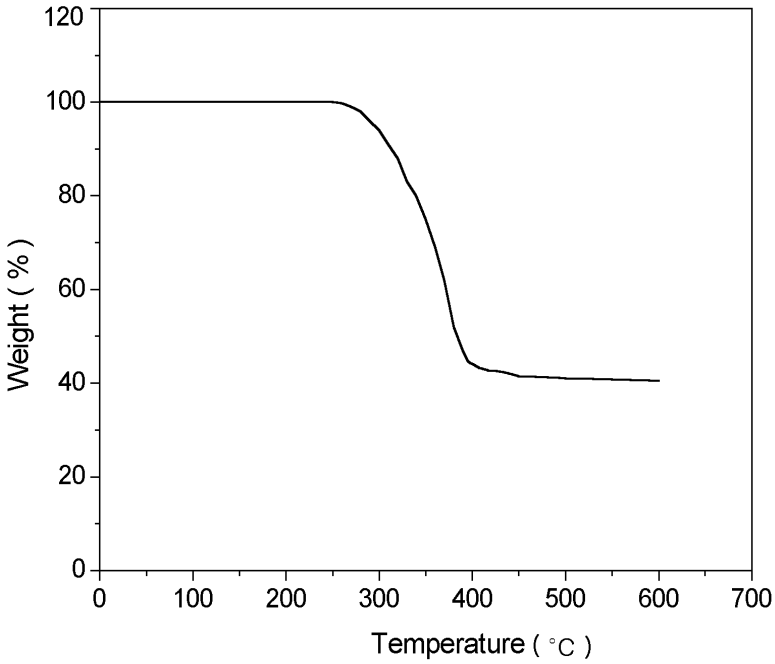


Fig. 3-4 Relationship between temperature and weight of GMT-Sheet

낙하 충격 시편제작

낙하충격 실험에서 성형은 인장 시편에 사용된 가열용 전기오븐과 유압 프레스를 사용였으며, 성형 시간과 온도는 인장시험편 제작과 동일하게 하였고. Fig. 3-1의 금형에 시험편 두장을 겹쳐 제작하였다. 하단에는 한 방향재인 U4038을 배열하고 상단에는 랜덤재인 P2038 P3038 P4038 U4038을 배열한후 프레스 압축 성형하였다. 1차 가공인 압축 성형편의 규격은 120mm × 32mm × 2sheet로 하였다. 열 압축 프레스 성형시 시편은 길이 방향으로 유동을 하게 된다. 압축두께는 프레스 압축 하중을 달리하여 시험편의 두께를 조절하였다. 시편 절단에는 다이몬드 커터(Beuhler, model :Powermat 2000)를 사용하여 양 끝단을 절단하였고, 규격은 32mm×120mm로 하였다.

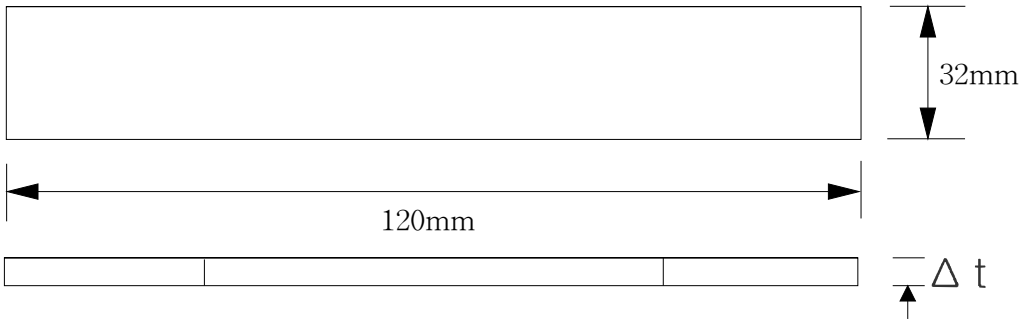


Fig. 3-5 Configuration of drop weight specimen

3-3 인장 실험

두께에 따라 제작된 시편을 Photo. 3-4의 만능 재료 시험기(Hounsfield, Load Cell : 5 tonU.K.)를 사용하여 크로스헤드 속도 1 mm/min의 속도로 인장시험을 하였다.

Photo. 3-5사진과 같이 시편 양쪽 끝에 지그를 물리고 인장실험을 하였고, 데이터는 Fig.와 같이 처리하였으며, A점은 Photo. 3-6처럼 시편이 전단되었을 때 최대하중 값을 나타내었으며, B값은 인장시점부터 전단되었을 때까지 시편이 늘어난 길이를 나타낸다. 본 실험에서는 전단되었을 때 최대하중 값을 가지고 이론식(2)에 대입하여 인장응력 값을 데이터화 하였다.

각각의 시편에 대하여 5회 실험을 실시하여 평균한 값으로 데이터를 처리하였다.

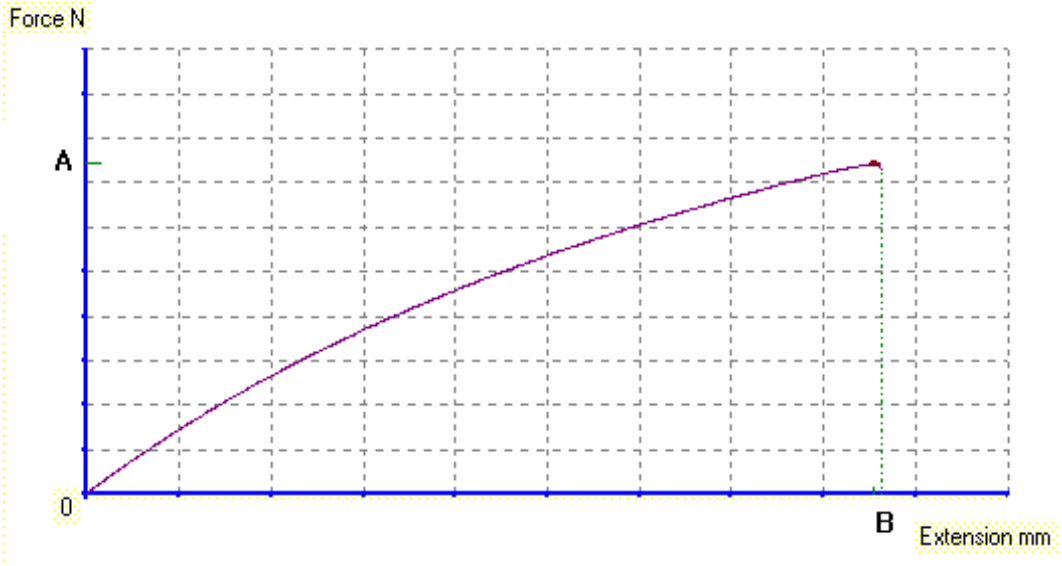


Fig. 3-6 Force-Extension curves of example for GMT-Sheet

Photo. 3-4 UTM for tensile test (Hounsfield, Load Cell : 5 tonU.K.)

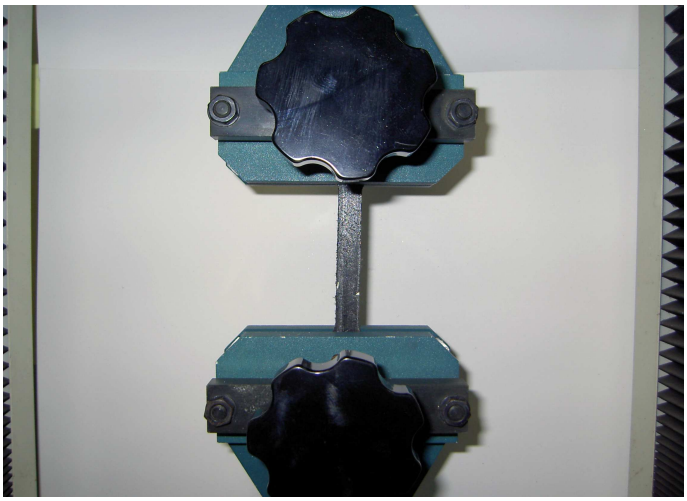


Photo. 3-5 Before tensile test jig

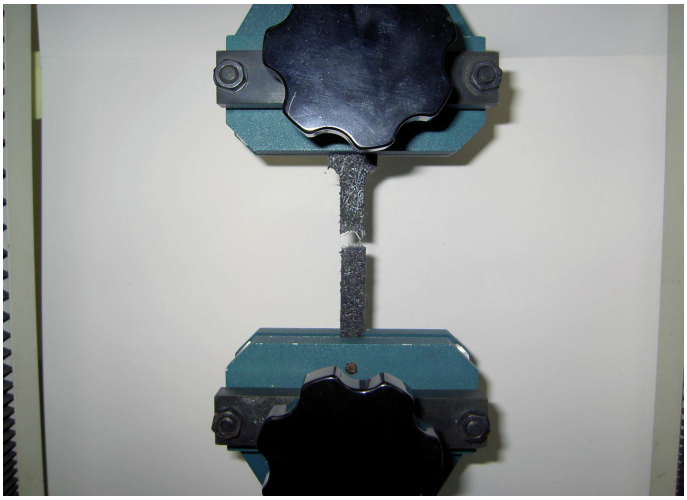


Photo. 3-6 After tensile test jig

3-4 낙하 충격 실험

Fig. 3-5와 같이 제작된 시편을 낙하충격 장비(Drop weight system)를 이용하여 측정하였다. 충격봉을 포함한 충격체의 하중은 11.1kg이며, 충격봉 끝에서 시편까지의 거리는 300mm로 동일하게 실험 하였다. 시편 지그는 그림과 같이 사각틀에 시편을 삽입하고 사각틀 안쪽에는 시편의 충격완화를 위하여 고무판을 접착하였으며, 시편의 유동을 최소화 하기 위해 지그의 모서리에는 육각볼트로 고정하고, 충격봉 상단의 센서에 의하여 변위와 하중곡선으로 데이터화 하였다.

데이터 처리는 충격봉이 시험편에 닿는 시점부터 시험편의 변형이 끝나는 시점까지 (+)값으로 데이터화 하였고, 시간단위는 1 /10000 초단위로 그래프로 도식하였다.

Photo. 3-1 Jig of Drop weight system

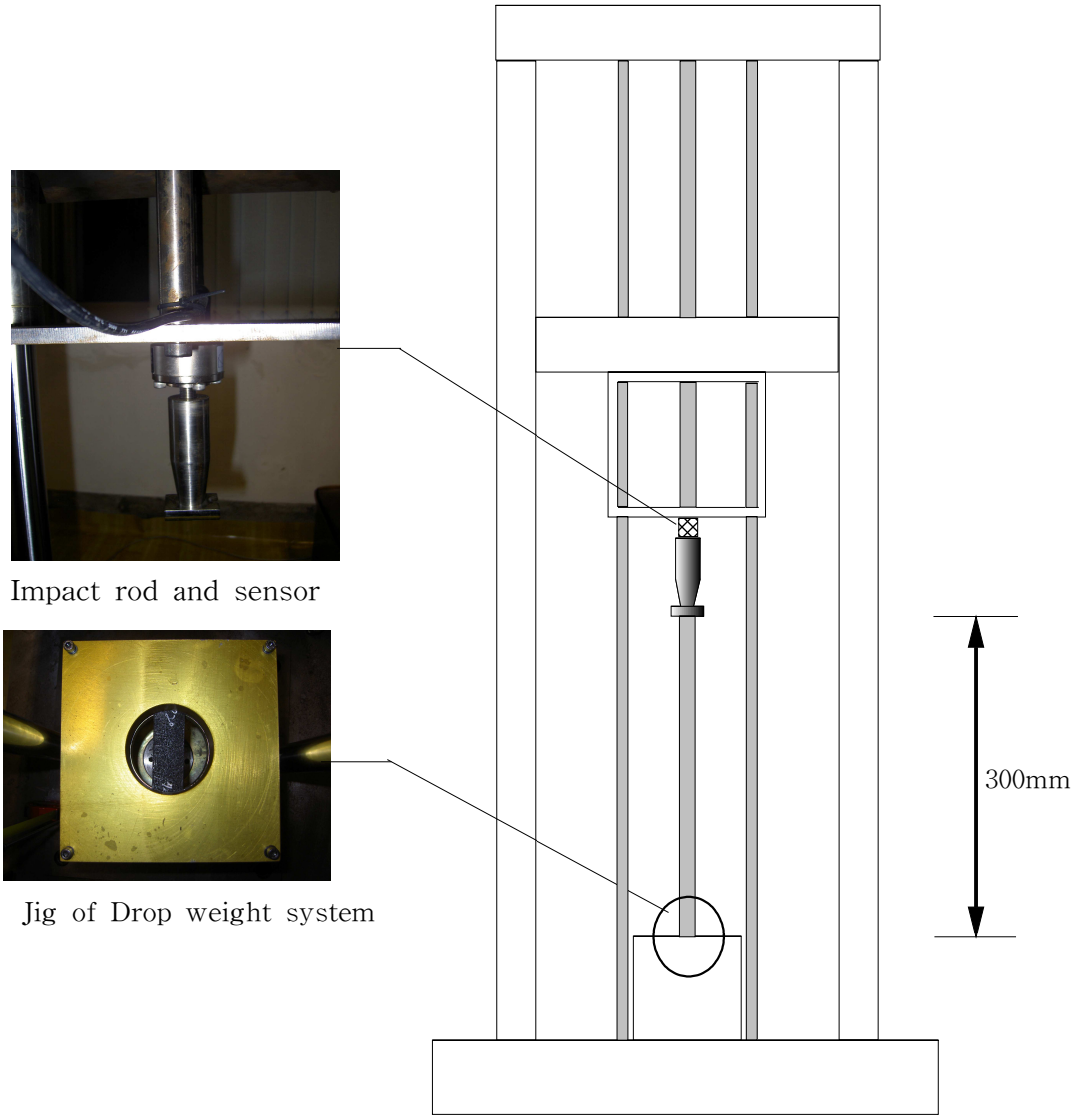


Fig. 4-7 Drop weight system

본 실험은 직사각형의 시험편에 대하여 수직방향으로 낙하실험을 행하여, 시험편이 변화되는 동안 하중-변위선도와 시험편의 형태에 따른 관계를 서술하였다. 낙하 충격실험에서 하중-변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고, 하중 변위 선도를 적분하여 이론식(7)에 의하여 시험편 내에 흡수된 흡수에너지량을 구하였다.

이론식(4)에 의하여 퍼텐셜 에너지를 구하면, 3381J로써 시험편의 흡수에너지와 비교하면10%정도의 손실률을 보이고 있다. 이는 시험편의 반발에너지, 마찰에너지, 열등으로 손실되었다고 사료된다.

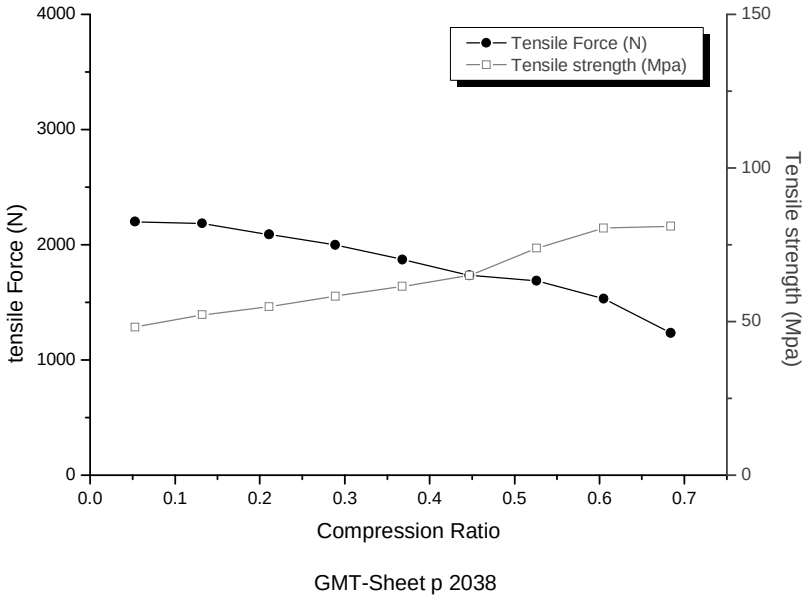


Fig. 4-1 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 2038 (random glass mat 20wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	1,234	80.971
1.5/0.605	1,532	80.420
1.8/0.526	1,687	73.797
2.1/0.447	1,734	65.017
2.4/0.368	1,872	61.417
2.7/0.289	1,999	58.268
3.0/0.211	2,088	54.803
3.3/0.132	2,185	52.136
3.6/0.053	2,201	48.141

Table 4-1 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 2038 (random glass mat 20wt%)

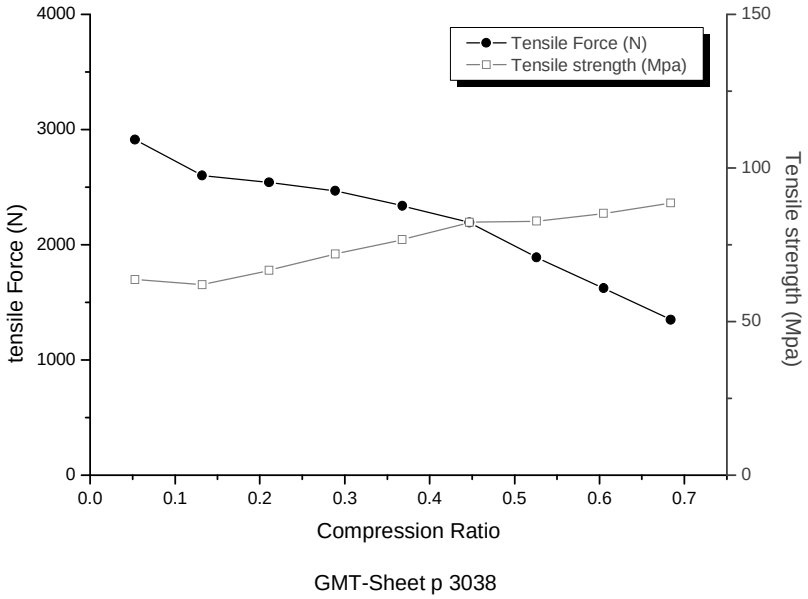


Fig. 4-2 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 3038 (random glass mat 30wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	1,350	88.583
1.5/0.605	1,623	85.197
1.8/0.526	1,890	82.677
2.1/0.447	2,193	82.227
2.4/0.368	2,338	76.706
2.7/0.289	2,470	72.033
3.0/0.211	2,540	66.667
3.3/0.132	2,600	62.038
3.6/0.053	2,912	63.692

Table 4-2 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 3038 (random glass mat 30wt%)

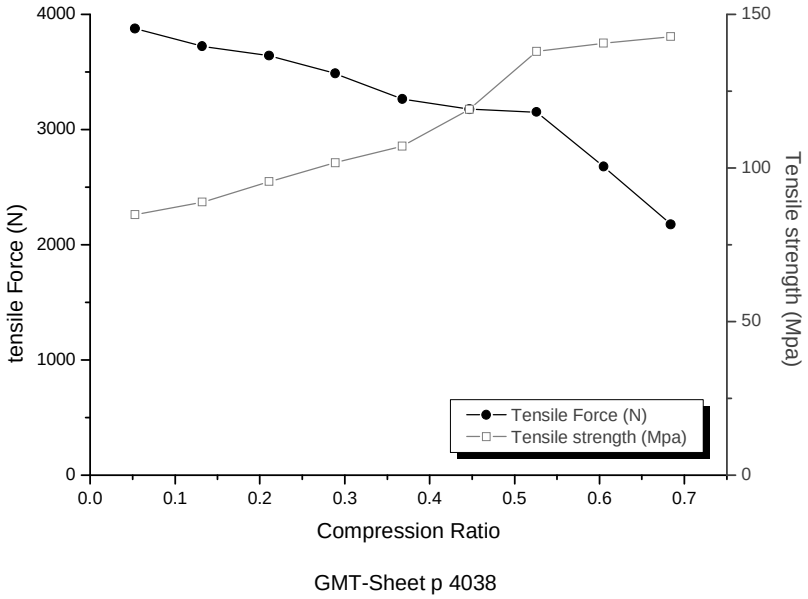
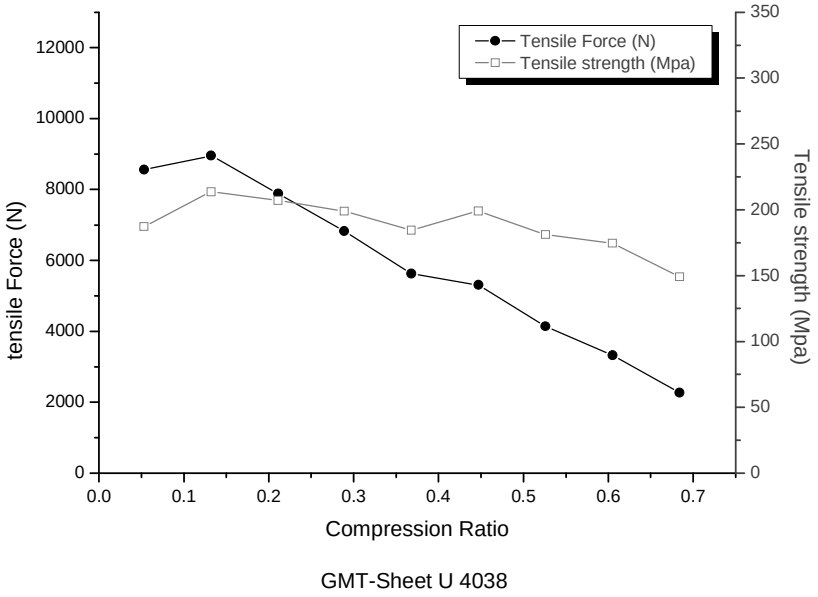


Fig. 4-3 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio P 4038 (random glass mat 40wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	2,175	142.717
1.5/0.605	2,678	140.577
1.8/0.526	3,152	137.883
2.1/0.447	3,176	119.085
2.4/0.368	3,265	107.119
2.7/0.289	3,487	101.691
3.0/0.211	3,640	95.538
3.3/0.132	3,723	88.833
3.6/0.053	3,876	84.777

Table 4-3 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio P 4038 (random glass mat 40wt%)



GMT-Sheet U 4038

Fig. 4-4 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4038 (unidirectional glass mat 40wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	2,269	148.885
1.5/0.605	3,325	174.541
1.8/0.526	4,139	181.059
2.1/0.447	5,309	199.063
2.4/0.368	5,623	184.482
2.7/0.289	6,823	198.979
3.0/0.211	7,890	207.087
3.3/0.132	8,954	213.648
3.6/0.053	8,561	187.248

Table 4-4 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4038 (unidirectional glass mat 40wt%)

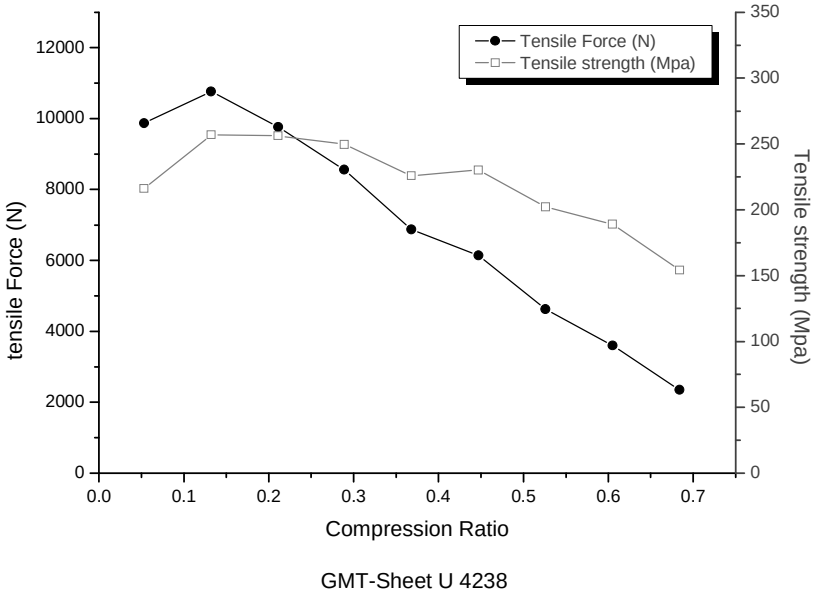
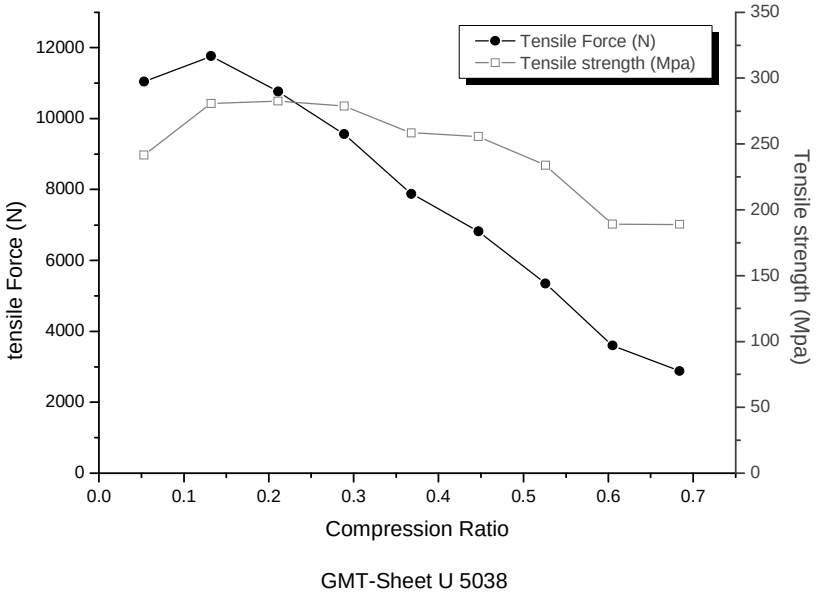


Fig. 4-5 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4238 (unidirectional glass mat 42wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	2,350	154.199
1.5/0.605	3,600	188.976
1.8/0.526	4,623	202.231
2.1/0.447	6,140	230.221
2.4/0.368	6,879	225.689
2.7/0.289	8,561	249.665
3.0/0.211	9,763	256.247
3.3/0.132	10,768	256.932
3.6/0.053	9,874	215.161

Table 4-5 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 4238 (unidirectional glass mat 42wt%)



GMT-Sheet U 5038

Fig. 4-6 Comparison with tensile force and tensile strength of compression ratio U 5038 (unidirectional glass mat 50wt%)

두께(mm)/압축률	최대 하중(N)	인장 응력(Mpa)
1.2/0.684	2,876	188.714
1.5/0.605	3,600	188.976
1.8/0.526	5,342	233.683
2.1/0.447	6,820	255.718
2.4/0.368	7,879	258.497
2.7/0.289	9,561	278.828
3.0/0.211	10,763	282.493
3.3/0.132	11,768	280.792
3.6/0.053	11,043	241.535

Table 4-6 Average with tensile force and tensile strength of compression ratio U 5038 (unidirectional glass mat 50wt%)

제 4 장 결과 맞 고찰

4-1 압축률에 따른 GMT-Sheet의 인장특성

Fig. 4-1～Fig. 4-3은 random glass mat로 강화한 GMT-Sheet인 P2038 , P3038 , P4038에 대하여 압축률 따른 인장 하중값의 변화와 인장 응력값의 변화를 살펴보기 위하여 그래프로 나타내었다. Table. 4-1～Table. 4-3은 각 시편에서 압축률에 따른 인장하중 값과 인장응력 값의 차이를 알아보기 위하여 수식화 하여 나타내었다.

Fig. 4-4～Fig.4-6은 unidirectional glass mat로 강화한 GMT-Sheet인 U4038 , U4238 , U5038에 대하여 압축률 따른 인장하중 값의 변화와 인장응력 값의 변화를 살펴보기 위하여 그래프로 나타내었다. Table. 4-4～Table. 4-6은 각 시편에서 압축률에 따른 인장하중 값과 인장응력 값의 차이를 알아보기 위하여 수식화 하여 나타내었다.

Fig 4-1은 압축률이 증가함에 따라 인장하중은 1,234(N)에서 2,201(N)까지 증가를 나타냈으며, 인장응력 값은 80.971(Mpa)에서 48.141(Mpa)로 감소함을 알 수 있다. Fig 4-2는 압축률이 증가함에 따라 인장하중은 1,350(N)에서 2,912(N)까지 증가함을 알 수 있고, 인장응력 값은 88.583(Mpa)에서 63.692(Mpa)로 감소함을 일 수 있다. Fig 4-3은 압축률이 증가함에 따라 인장하중은 2,175(N)에서 3,876(N)까지 증가를 나타냈으며, 인장응력 값은 142.717(Mpa)에서 48.141(Mpa) 감소를 알 수 있다.

랜덤 유리섬유로 강화한 GMT-Sheet는 Table. 4-1～Table. 4-3에서 보듯이 압축률에 따른 인장하중의 크기는 유리섬유 함유율이 많을수록 크게 나타났다. 압축률이 최소(0.053)일때와 최대(0.684)일때 인장하중의 변화량을 보면, 함유율이 20%일때 967, 함유율이 30%일때1,562 , 함유율이 40%일때 1,701로 나타났다. 인장 응력값의 변화량은 각각 32.83 , 24.891 , 57.94로 나타났다.

Fig. 4-4는 압축률이 증가하면서 인장하중 값은 점차적으로 감소함을 보이고 있다. 압축률이 0.132일 때 하중값에 있어 최대치를 보이고 있다. 압축률이 0.053일 때와 압축률이 0.132인 구간을 보면, 압축률이 증가할 때 인장하중 값이 증가함을 보이는데, 이는 모재인 폴리프로필렌이 열을 받게 됨에 따라 유동을 하게 되고 강화재인 유리섬유의 손실율이 적게 나타났기 때문이다. 하지만, 이후 구간은 점진적인 감소를 보이는데, 열 압축에 따라 강화재인 유리섬유가 전단되어 유동하는 양이 증가하기 때문이다. 인장응력곡선 또한 압축률이 증가함에 따라 인장응력 값은 감소함을 보이는데, 이 또한 강화재인 유리섬유가 전단되어 유동하는 양이 증가하기 때문이다.

Fig. 4-5와 Fig. 4-6은 한방향인 유리섬유가 42% 와 50%로 함유된 시편을 인장시험한 그래프이다. 인장하중과 인장응력 곡선은 Fig.3-9와 비슷한 형태를 보이고 있다.

함유율에 따른 최대 인장하중과 인장응력을 비교하면, 함유율이 많을수록 인장 하중값과 인장 응력값도 크게 나타남을 알 수 있다. 압축률에 따른 비교를 보면, 압축률이 증가할수록 하중값의 변화폭은 크게 나타났고, 이는 강화재인 유리섬유가 전단되어 유동한 양이 증가하기 때문이다. 본 실험에서 압축률이 최대일 때, 함유율에 따른 하중값이 2,269(N), 2,350(N), 2,876(N)로 나타났고, 인장 응력값은 148.885(Mpa), 154.199(Mpa), 188.714(Mpa)로 나타났다. 인장응력이 차이를 보이는 것을 보면, 열 압축에 따른 모재와 강화재의 분리가 이루어지고 전단이 이루어 졌지만, 강화재인 유리섬유가 인장실험에 있어 영향력을 미치는 것을 알 수 있다.

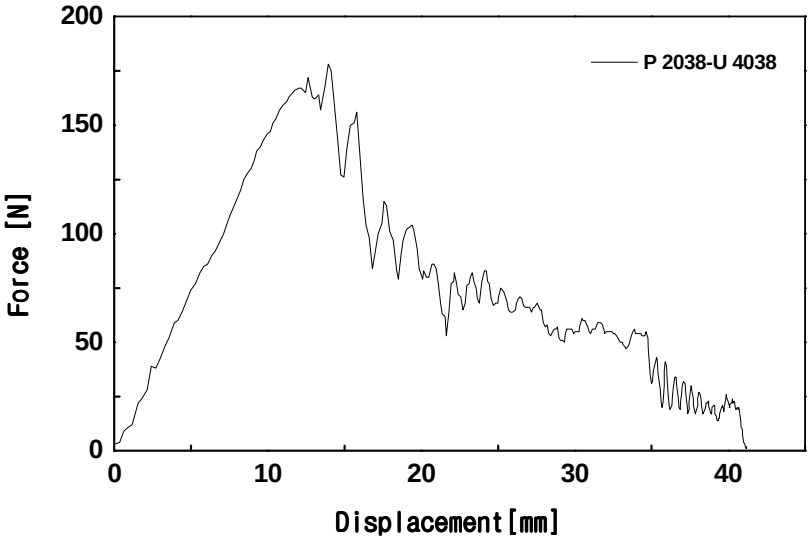


Fig. 4-8 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 3.60mm)

Photo. 4-1 P 2038-U 4038 specimen (thick 3.60mm)

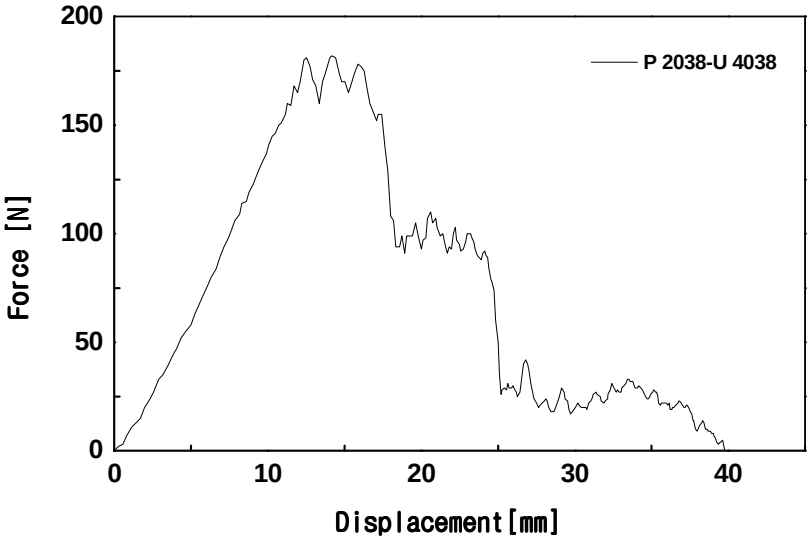


Fig. 4-9 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 4.06mm)

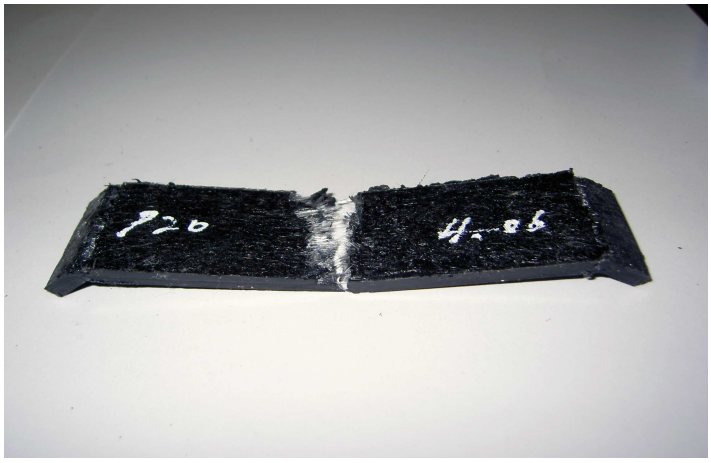


Photo. 4-2 P 2038-U 4038 spicemen (thick 4.06mm)

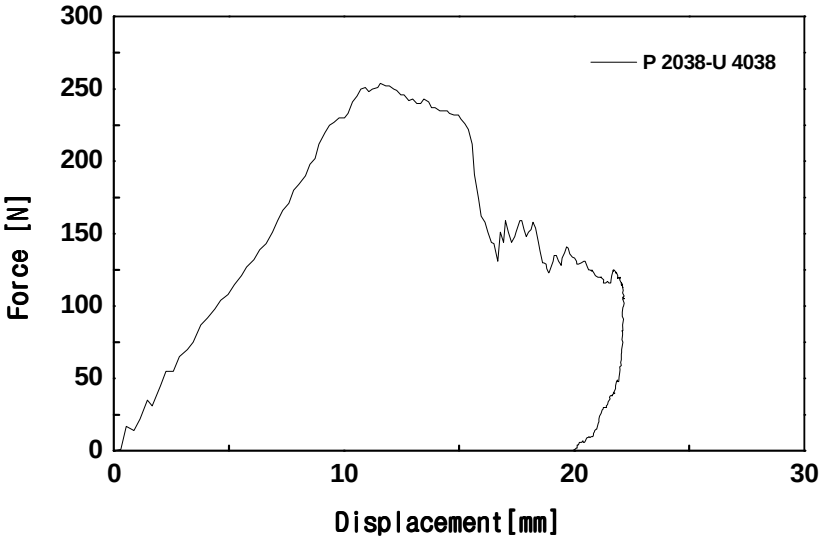


Fig. 4-10 Force-Displacement curves of P 2038-U 4038 (thick 4.72mm)

Photo. 4-3 P 2038-U 4038 spicemen (thick 4.72mm)

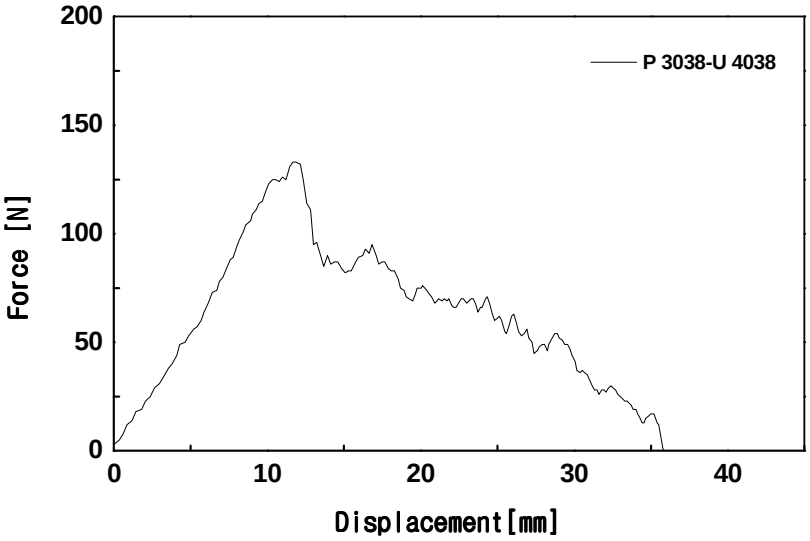


Fig. 4-11 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 3.41mm)

Photo. 4-4 P 3038-U 4038 spicemen (thick 3.41mm)

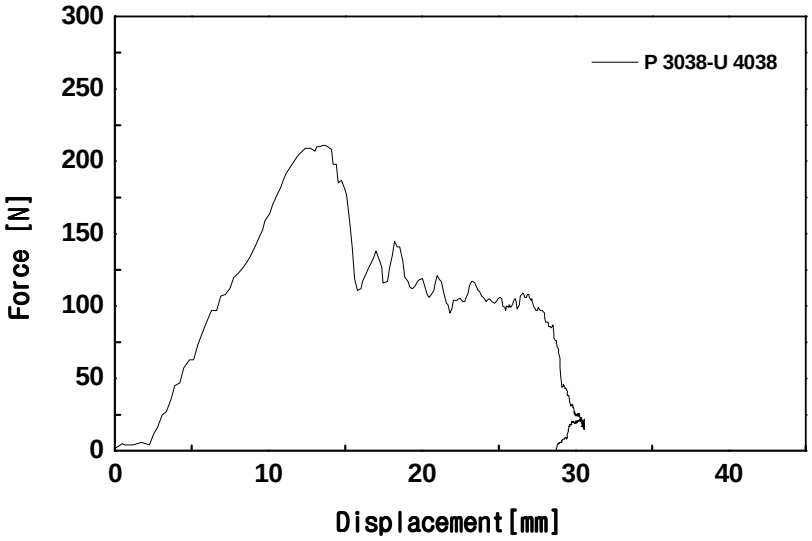


Fig. 4-12 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 4.70m)

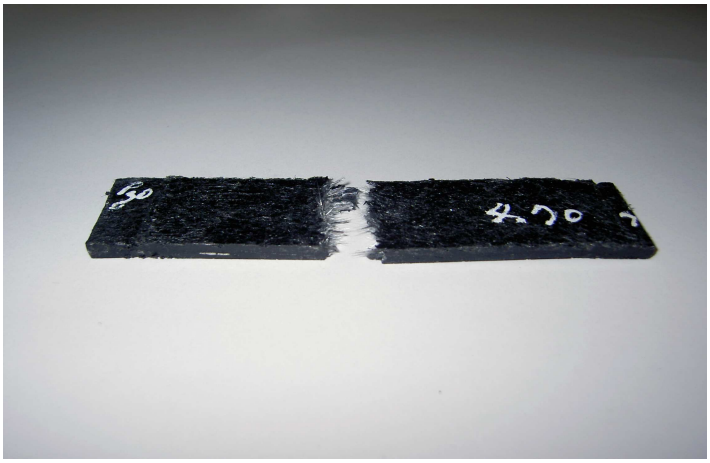


Photo. 4-5 P 3038-U 4038 spicemen (thick 4.70mm)

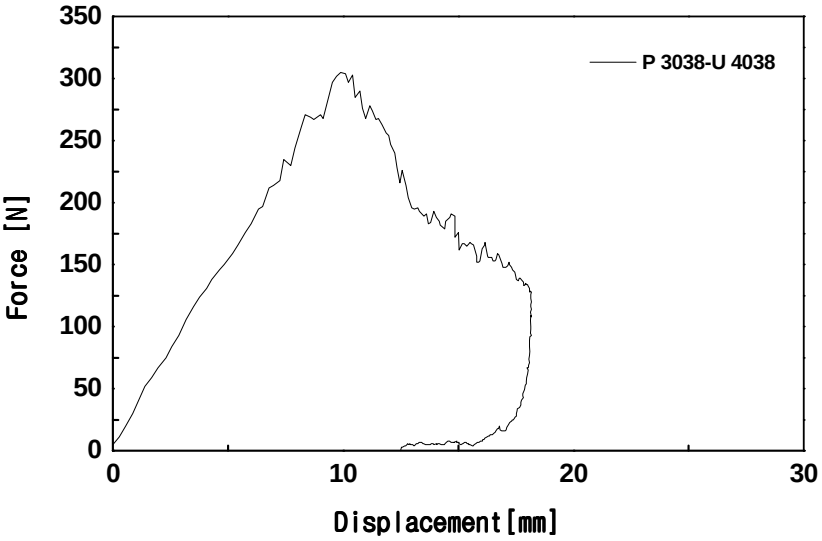


Fig. 4-13 Force-Displacement curves of P 3038-U 4038 (thick 5.08mm)

Photo. 4-6 P 3038-U 4038 spicemen (thick 5.08mm)

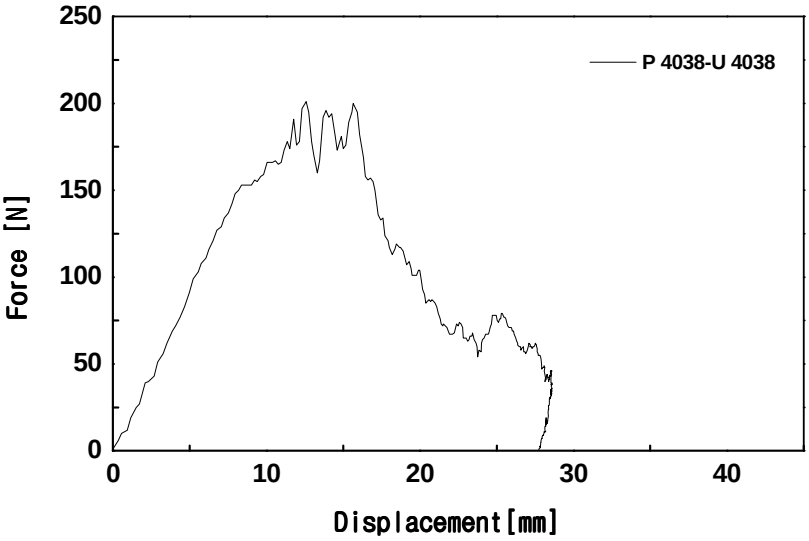


Fig. 4-14 Force-Displacement curves of P 4038-U 4038 (3.37mm)

Photo. 4-7 P 4038-U 4038 spicemen (thick 3.37mm)

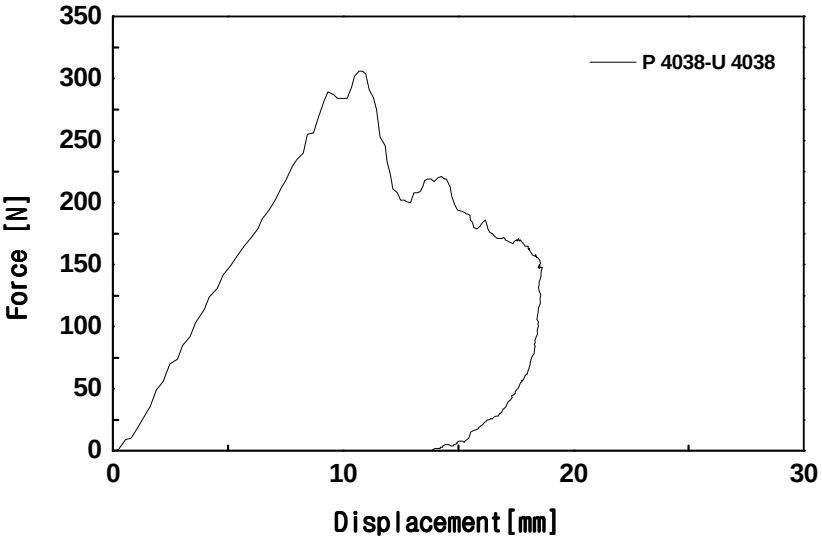


Fig. 4-15 Force-Displacement curves ofP 4038-U 4038 (thick 4.69mm)

Photo. 4-8 P 4038-U 4038 spicemen (thick 4.69mm)

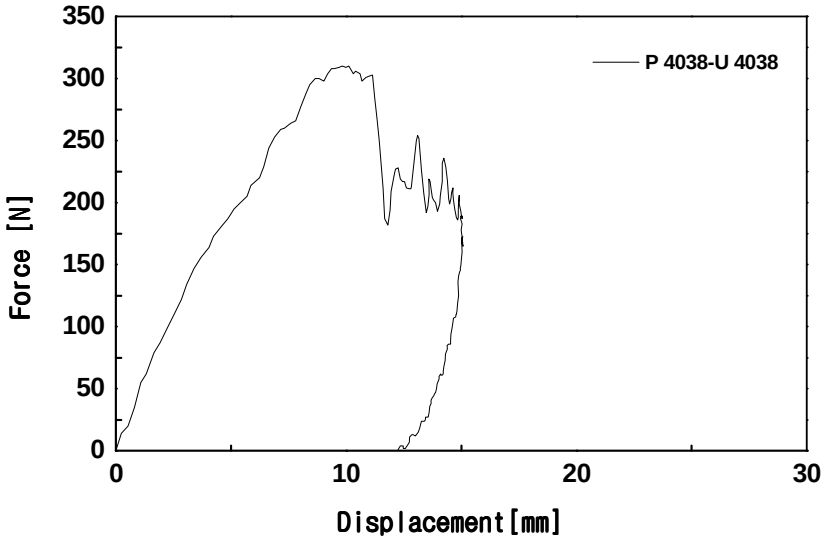


Fig. 4-16 Force-Displacement curves of P 4038-U 4038 (5.05mm)

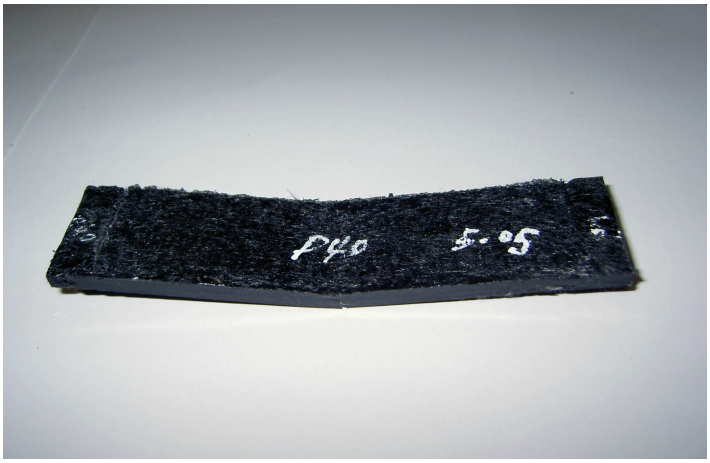


Photo. 4-9 P 4038-U 4038 spicemen (thick 5.05mm)

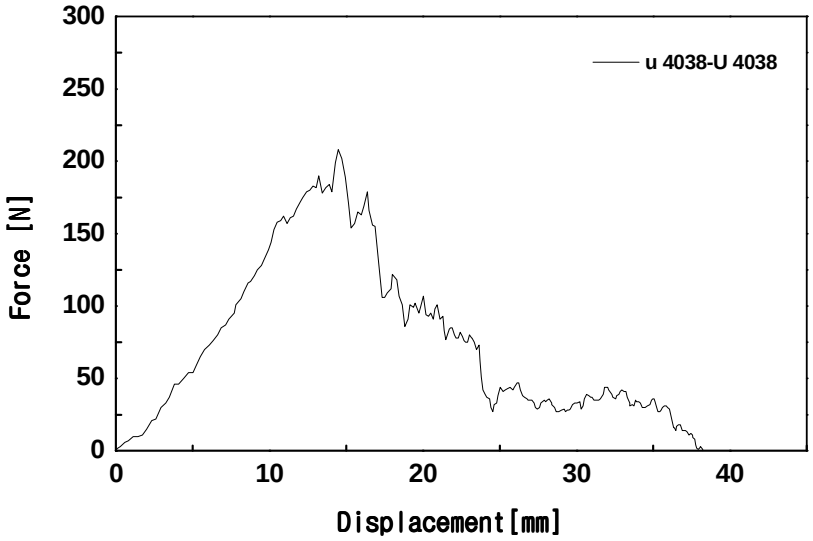


Fig. 4-17 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (3.62mm)

Photo. 4-10 U 4038-U 4038 spicemen (thick 3.62mm)

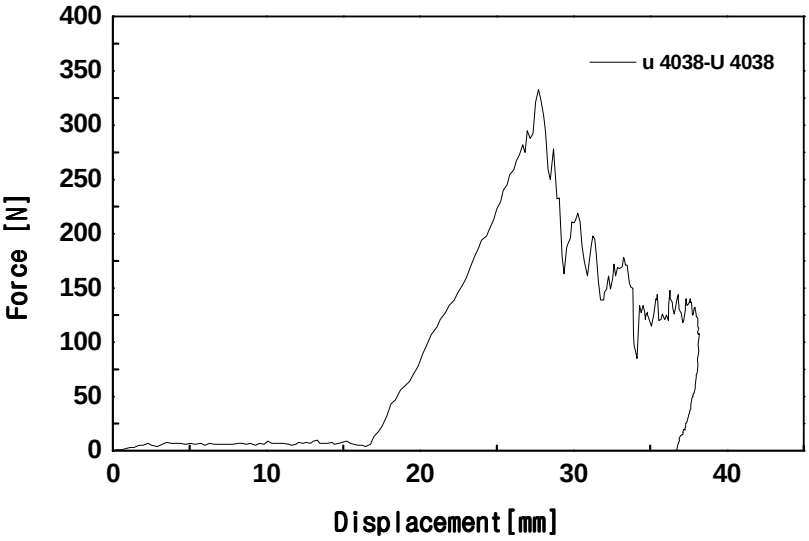


Fig. 4-18 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (thick 4.63mm)

Photo. 4-11 U 4038-U 4038 spicemen (thick 4.63mm)

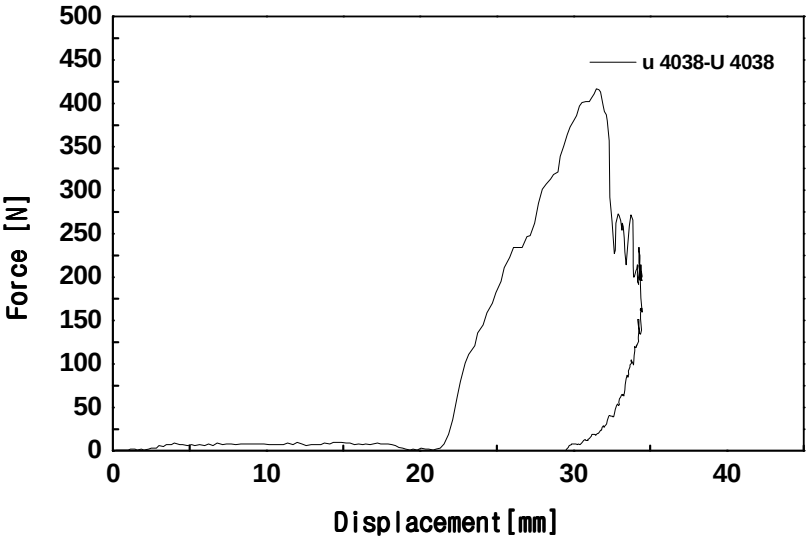


Fig. 4-19 Force-Displacement curves of U 4038-U 4038 (thick 5.66mm)

Photo. 4-12 P 4038-U 4038 spicemen (thick 5.66mm)

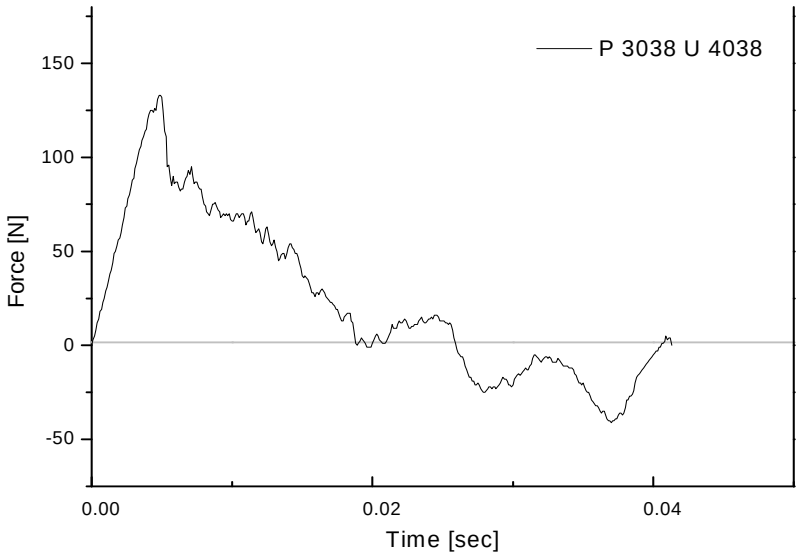


Fig. 4-20 Force-Time curves of P 4038-U 4038 (3.41mm)

Table 4-1 Drop-weight test results to Gmt-Sheet Thickness

specimen	*Thickness [mm]*	*Absorbed energy* E_a*[J]*	*Maximum force [N]*
P2038-U4038	3.60	3118.89	178
	4.06	2946.44	182
	4.72	3232.66	254
P3038-U4038	3.41	2279.98	133
	4.70	3272.37	211
	5.08	3126.08	305
P4038-U4038	3.37	3060.99	201
	4.69	3114.79	306
	5.05	2889.38	310
U4038-U4038	3.62	2903.87	208
	4.63	3139.02	333
	5.66	3094.90	417

4-2 압축률에 따른 GMT-Sheet의 낙하충격 특성

Fig. 4-8～Fig. 4-19은 random glass mat로 강화한 GMT-Sheet인 P2038 , P3038 , P4038과 unidirectional glass mat로 강화한 GMT-Sheet인 U 4038 그리고, U 4038 두장을 겹쳐 열 압축 성형한 시편에 대하여 두께에 따른 하중-변위 선도이며, Photo. 4-2～Photo. 4-13은 각 시편에 대한 충격 후 사진을 나타내었다.

그래프 상에 나타난 곡선의 형태를 보면 하중이 최대값 일때 시편의 전단이 이루어졌고, 랜덤재와 한 방향재의 겹침 성형시편의 충격특성을 보면, 랜덤재의 함유율이 많을수록 하중이 크게 나타나는 것으로 봐서 강화재의 함유량이 충격에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 곡선의 형태에서 Fig 3-15와 같이 굴곡이 크게 두 번 나타나는데 이는 전단이 중심부와 양 끝단에서 이루어짐을 알 수 있다. 각 시편의 최대 하중값과 흡수에너지 값은 Table. 4-1에 나타내었다. 랜덤재-한 방향재 접합시편과 랜덤재-랜덤재 접합시편에서 랜덤재만의 접합이 하중값이 크게 나타났으며, 이는 내 충격성이 크다는 것을 알 수 있다. 함유율에서 비교하면 함유율이 높울수록 충격 강도값이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 Photo.4-4를 보면 충격시 층을 이루며 갈라짐 현상을 보였는데, 이로 인해 최대 하중값에 영향을 주었고, 흡수에너지 또한 반발에 의한 탄성으로 인해 변위값이 (-)값을 보였다. 데이터처리에 있어 변위값을 (+)값만으로 처리했기 때문에 차이가 크게 나타났다. Fig. 4-20에서처럼 시간-변위곡선을 보면 (-)값을 보이는데 이에 대한 흡수에너지 값을 합산하면 흡수에너지 값도 비슷한 값을 보였다.

제 5 장 결론

섬유함유율에 대하여 단섬유인 랜덤 Gmt-Sheet와 장섬유인 한 방향 Gmt-Sheet를 압축률에 따라 시편을 제작한 후 인장실험을 하고, 랜덤 Gmt-Sheet와 한 방향 Gmt-Sheet를 겹침 성형한 시편과 한 방향 Gmt-Sheet를 겹침 성형한 시편을 제작하여 낙하충격 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 랜덤 Gmt-sheet는 압축률이 증가함에 따라 모재인 폴리프로필렌과 강화재인 유리섬유가 함께 유동함으로 인장 하중값이 감소하였고 단섬유의 유동에 따라 시편의 두께가 감소함으로 인장응력은 증가하게 되는 것을 알 수 있다.

2. 한 방향 Gmt-sheet는 압축률이 증가함에 따라 장섬유 강화재인 유리섬유가 어느정도 전단이 되었고, 본 실험에서 최대 압축률인 0.684까지 압축을 할 경우 전단량이 증가하여 인장 응력값의 감소 폭이 커짐을 알 수 있다.

3. Gmt-Sheet에 있어 섬유함유율 보다는 배열 상태에 따라 장섬유 배열인 한 방향 Gmt-Sheet의 인장 하중값과 인장 응력값에 있어 단섬유 배열인 랜덤 Gmt-Sheet 보다 크게 나타남을 알수 있다.

4. 랜덤 Gmt-Sheet와 한 방향 Gmt-sheet의 겹침 성형실험 결과 랜덤 Gmt-Sheet의 함유율이 클수록 하중값이 크게 나타남을 알수 있다..하지만 한 방향 Gmt-sheet를 겹침 성형한 경우와 비교 했을때는 한 방향 Gmt-sheet를 겹침 성형한 시편이 하중값이 크게 나타남을 알 수 있다. 장섬유의 내 충격성이 단섬유보다 크다는 것을 알 수 있다.

5, 에너지량의 보존을 알아보는 실험에서 위치에너지는 충격에너지로 또 흡수에너지로 변환하였으며, 손실량에 있어 10%정도의 손실률을 보였고, 손실량은 반발에너지, 마찰에너지 및 열로 손실되었을 것으로 사료된다.