

特輯

신 목질 복합재료인 합성목재의 전망 -시장과 기술의 측면에서-

한유수*

Outlook for Wood Plastic Composite in aspect of Market and Technology

Yousoo Han*

ABSTRACT

Wood Plastic Composite (WPC) has been introduced as a new constructional material in Europe and North America. The maintenance-free durability against weather was accepted by customers and the environment-friendly merits ignited the abrupt increase of market size. Domestic major companies have kicked off the WPC business at the market of outdoor constructional materials. Due to the high contents of natural wood fiber, the production equipments should be modified to remove the moisture, to prevent thermal degradation and to promote output rates. Materials including functional fillers play a critical role in rheological properties, which affects the physical and mechanical properties of the last products. More research might be performed for synergy effects combined by various academic fields from mechanical and chemical engineering to polymer process and material science.

Key Words : Wood plastic composite, Wood fiber, Functional fillers, Extrusion process

1. 서론

합성목재(Wood Plastic Composite)는 목섬유와 열가소성 고분자를 혼합, 개개의 목섬유가 용융된 고분자에 의해 완전히 캡슐화(Encapsulation)된 상태로 최종 압사출하여 성형된 재료를 말한다. 열경화성 수지를 결합제(Binder)로 사용했던 일반 목질복합재료에 비하여 압사출이라는 공정을 사용하고 수지의 역할이 결합제를 넘어서서 재료의 Matrix로 확대되었다는 점이 다르다. 그리고 주로 판상(Panels type)으로만 생산되던 기존 목질복합재료와는 다르게 압출공정으로 다양한 형상(Profile)이 가능하다는 것이 WPC의 큰 장점이다. 목재사용에서 발견되어지는 원목소재의 단점은 북미 목질시장에서 신소재의 출현을 재촉하게 되었다. 자동차 내장재로 생산되던 초기 WPC는 조경자재 시장이라는 거대한 놀이터를 만나게 되었고 90년대 중반부터 연성장을 20%대라는 놀라운 시장개척 결과를 낳았다. 목질 조경자재는 주로 방부 처리된 침엽수 목재

(Treated wood)나 내구성이 인정받는 남양재 및 방부처리가 필요 없는 적삼목(Red Cedar, *Juniperus virginiana*)과 세콰이어(Redwood, *Sequoia sempervirens*)가 주재료이다. 그러나 이러한 목재는 정기적인 개보수가 필요할 뿐 아니라 궁극적으로 부패를 막을 수 있는 방법이 없다. 부패를 막기 위해 사용하는 주요 화학약품인 CCA(Cromated Copper Arsenate)는 인체 유해성 문제를 일으켰으며 결국 미국에서는 2003년부터 거주용 조경자재에 사용할 수 없게 되었다. 이때 WPC 제품의 등장은 많은 북미인들에게 안전성과 실용성에서 큰 매력을 느끼게 하였으며 2003년 8000억 원의 북미시장을 형성했을 뿐 아니라 현재에도 20%대의 연평균 성장률을 보이고 있다. WPC소재의 장점을 이상적인 소재특성에 견주어 그 수준을 표시한 결과가 Fig.1에 나타나 있다.

국내의 조경용 목질자재 시장도 그 규모면에서 큰 변화를 보이고 있는데, 2000년 조경 시설물 공사수주액이 2600억 원이었으나 2003년에는 두 배에 가까운 5000억 원

* LG화학 기술연구원 산업재연구소

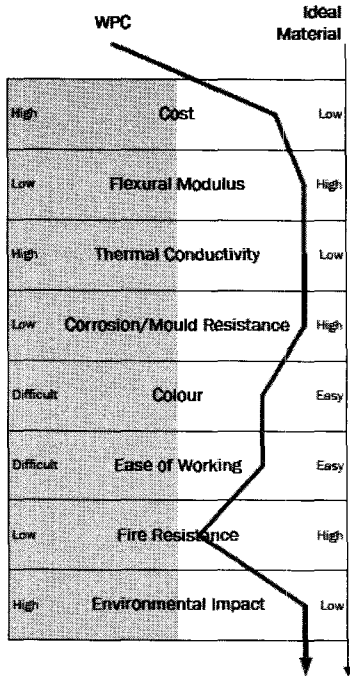


Fig. 1 이상적인 건축자재로서의 WPC 물성(Reported by Tangram Tech.,Ltd).

(조경목, 造景木 제외)에 이르게 되었다. 조경공사에는 사용되는 목질 자재 량을 가만하면 자재시장 자체의 성장률도 비슷할 것으로 판단된다. 이를 뒷받침하는 것이 방부목의 유통량이다. 2004년 국내 제조된 방부목 약 500억 가량이 유통되었고, 수입되어 유통된 방부목도 약 800억에 다다른 것으로 추정된다. 이들 방부목은 구조용 건축자재와 데크 및 하부구조용으로 주로 사용되어지고 있다. 그러나 방부목의 인체유해성의 문제로 최근 방부목의 성장률 및 시장 점유율은 감소하고 방부처리가 되지 않은 남양재가 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. (Fig.2) 그러나 남양재 또한 방부목 대비 고가에도 불구하고 정기적인 유지보수를 하더라도 갈라짐 및 해충에 의한 재료 손상을 피할 방법이 없다. 이러한 추세 속에서 여러 가지 물성을 처방으로 조절하며, 용도에 따른 특성 등은 제품 설계와 공정 등으로 조절할 수 있는 신목질 복합재료인 합성목재는 그 잠재적 가능성과 기회에 있어 밝은 전망을 제공하고 있다.

2. Global Markets

'05년 현재 세계 WPC시장은 약 1조4천억으로 추정된다. 이는 북미시장이 1조원, 일본 및 유럽시장이 각각 3천억과 1천억으로 분류[1]할 수 있다. WPC용도는 지역별로

특징을 보이고 있다. 즉, 북미에서는 난간재를 포함한 주거용 데크 시스템이 가장 큰 시장을 가지고 있는데 매출액 통계로는 2005년 현재 7500억 원이며 시장점유율은 전체 데크재 시장(3조8천억, 데크 시스템의 하부구조용 목질자재를 제외한 수치임)의 약 20~25%까지[2,3] 차지하는 것으로 예상된다. 이는 1997년 단지 2%였던 시장점유율이 2000년 8%로 성장한지 5년 만에 다시 두 배 이상 상승한 것으로 북미 WPC시장은 여느 다른 건축 자재시장에 비해 월등한 성장률[4]을 보이고 있다. 초기 설치비용이 높음에도 불구하고 보수유지의 편리함이 소비자에게 강한 동기로 작용했다는 것이 대체적인 분석이다. 이러한 긍정적인 시장 환경은 Fig.3에 분석되어져 있다.

북미시장과는 달리 일본을 제외한 아시아시장은 아직 큰 변화는 없다. 일본은 90년대 후반부터 합성목재라는 이름으로 WPC가 제조 유통되고 있었고 시장규모는 2005년 현재 약 3천억으로 추산되는데 제품을 생산하는 회사는 30여개에 이르고 있다. 시장규모는 약 10%의 연평균 성장률을 보이는데 특히 1999년에서 2000년 사이에는 전체 WPC생산량이 1.5배 증가한 것으로 나타났다[5]. 일본에서의 WPC 용도는 실용적인 면에서 뿐 아니라 고급의 관 구현에 중점을 두고 개척이 되었다. 데크 외에 단독 및 공동주택의 발코니 바닥과 난간, 조경용 가구, 파고라 등 외관이 중시되는 용도에 시장이 형성되었다. 이러한 원목질감을 중시하다 보니 사용되어지는 목섬유와 폴리머 Matrix의 선택이 북미와는 다른 양상을 보이게 되었다. 유럽은 세계시장 중에 가장 늦게 WPC에 관심을 가지게 되었다. 2002년부터 본격적으로 완제품이 시장에 선을 보이게 되었으며 2005년 현재 40여개 업체에서 제품을 생산하고 있다. 시장규모는 2002년 550억에서 2005년 1000억으로 성장하였고 전문 시장조사 기관은 2010년 3800억까지 그 규모가 커질 것으로 예측하고 있다[6,7]. 유럽에서 WPC의 용도는 북미시장과는 차이를 보인다. 가장 성장률이 높은 데크의 경우에는 데크재 시장 자체가 북미의 17%정도인 6500억 원으로 WPC데크는 그 중 약 5%의 점유율을 갖는 것으로 파악된다[8]. 외장재보다는 내장재에서 용도를 발견하기 시작한 유럽시장은 특히 가구산업에서 구조용이나 장식용을 위한 몰딩류에 WPC 장점이 인정받고 있다. 특히 타원형이 반복되는 복잡한 형상의 경우 기존 목질재료의 가공비가 높아 경쟁력이 낮은 반면, 압출을 통한 형상구현이 자유로운 WPC가 마감재 및 몰딩 자재 시장에서 환영을 받고 있는 추세이다. 국내 WPC 시장은 이제 막 형성되고 있다. 그 규모는 '06년 약 50억 원 정도로 추정되며, 이견환경과 LG화학이 그 시장을 양분하고 있다. 국내에서 생산되는 제품은 주로 데크, 사이딩, 펜스(Fence) 및 루버(Louver) 시스템 등이다.

WPC 시장에서의 현재 주요한 이슈는 용도의 확장을 통한 시장규모 확대와 기존 원목 재료와 비등한 외관을 구현

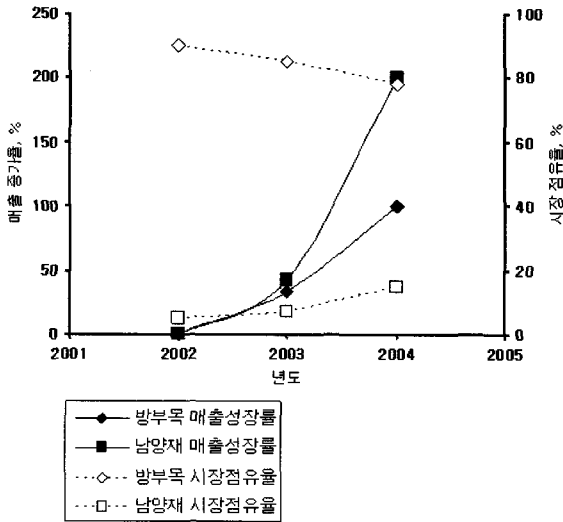


Fig. 2 국내 방부목과 남양재의 매출증가율 및 시장점유율 (통계청 자료, 2004).

하는 것으로 요약할 수 있다. 각 지역마다 목재사용에 있어 정서적인 배경이 다르므로 같은 WPC임에도 불구하고 차별화를 이루려는 방법이 다르게 되는 것이다. 예를 들면 북미 시장에서는 실용적인 내구성을 강조하면서 과감한 색상의 적용으로 디자인의 첨단화를 이루려 한다면 일본과 한국은 다양한 표면처리를 통하여 원목질감(Wood reality)의 구현을 우선시한다는 것이다.

용도확대를 위해서는 기존 외장 조정자재 시장을 벗어나 발코니 바닥이나 욕실 및 부엌용 자재 등 내장재 시장으로의 확장을 추진하고 있다.

3. Technology

WPC 관련 기술동향을 분야별로 크게 요약하면 Processing, Equipments, Materials, Performance로 나눌 수가 있다. 이를 위한 연구개발은 특히 Mechanical / Chemical Engineering 과 Polymer Process, 그리고 Material Science 등의 전문분야를 필요로 한다.

먼저 Processing에서는 목섬유 고함유로 인한 공정의 설계가 가장 중요한 이슈이다. 즉, 목섬유와 Polymer Matrix의 충분한 혼합을 위하여 Pre-compounding 공정을 성형 압출공정과 분리하거나, 또는 두 대의 압출기를 동시에 혼용하는 Tandem Type의 Process를 구성하여 Compounding과 성형압출을 동시에 해결하기도 하는데 이때 Polymer Matrix와 목섬유 Feeding에 순차를 둬므로 다른 두 원료의 원활한 혼련을 배려하기도 한다[9]. 그 외로는 범용 압출기와는 다른 형태의 Buss Kneader나 원뿔형

의 회전자(Conical Rotor)를 사용한 Conenor사의 신개념 압출장치도 소개되고 있다.

Equipments 분야에서는 기존 고분자 압출장치에 대한 전면적인 변형과 보완이 필요하다. 원료 Feeding부분과 Extruder Screw의 변형, 목섬유가 함유한 수분제거를 위한 Venting과 목섬유의 탄화를 방지하기 위한 고려 등이 반영되어야 하며, 압출 후 공정인 냉각과 인취의 과정에도 재료의 특성을 고려한 변형이 적용되어야 한다. Extruder Screw 설계는 각 압출기 제조회사의 고유한 Knowhow로 최대 허용 목섬유 및 기타 Filler의 함량을 결정할 뿐 아니라 혼합효율로 인한 제품 자체의 기계적 물성에 직접적인 영향을 미친다. Screw Configuration은 다량 함유된 목섬유의 혼합에 있어 중요한 두 가지 역할을 수행하게 하는데, 그 하나는 Distributive Mixing이다. 이는 목섬유를 가능한 한 골고루 퍼지게 하여 Matrix Polymer 안에 목섬유가 균등하게 퍼져 존재하게 하는 기능이다. 또 하나의 기능은 Dissipative Mixing으로 목섬유를 균등하고 균일한 상태로 으깨주는 역할을 한다. 목섬유의 주성분인 Cellulose는 다량의 Hydroxyl group을 표면에 함유하여 Cellulose Chain간에 많은 수소결합(Hydrogen bonding)을 형성한다. 이는 Cellulose 고분자의 Accumulation을 일으킬 뿐 아니라 섬유상의 엉킴으로 나타나는데, 특히 수순의 함유는 이러한 수소결합을 촉진시켜 목섬유의 엉킴 현상을 악화시킨다. 이렇게 Accumulation된 목섬유는 압출 공정 하에서 물리적이고 기계적인 힘으로 다시 깨어지고 분쇄되는데 압출기의 설계가 결정적인 역할을 하게 된다. 압출공정 투입전의 목섬유의 크기분포는 결국 압출 Screw의 Dissipative mixing 기능으로 압출 후에는 크기분포가 달라지는 것이다. 뿐만 아니라 압출 생산성도 대부분 스크루에 의존한다. Extruder Screw의 선정에 있어서는 많은 토론이 진행 중이다. 현재 일축압출기와 이축 압출기 모두 생산에 사용되고 있고, Screw Type중에서 Conical 및 Parallel Type이 각각 장단점을 가지고 사용되고 있는데, 최종 Screw 선정은 생산 Process와 밀접한 관련을 갖는다. 최근에는 압출생산성의 개선을 목적으로 Counter-rotating Twin Screw Type이 가장 활발하게 사용되고 있으나 사용하는 목섬유의 함수율과 공정에 따라 Conical과 Parallel Type이 선택되어지기도 한다.

Materials 분야에서 가장 중요한 것은 제품 생산성 및 최종 제품의 내구성에 결정적인 영향을 끼칠 수 있는 다양한 첨가제이다. 목섬유와의 결합을 유도하는 결합제(Coupling Agents), 생산성을 높일 수 있는 내외부활제(Lubricants), 강도와 생산성을 동시에 높일 수 있는 유무기 첨가제 (Processing aids), 자외선 흡수 및 제품의 색상을 구현하는 기능성 안료 (Anti-UV color pigments) 등이 물성을 좌우하는 핵심구성물이라 할 수 있다. 첨가제에 대한 연구는 아주 활발한데 특히 서로 다른 표면성질을 가지는 목섬유와 Polymer Matrix간의 Interface를 조절하여 주는 Coupling Agents는 제품의 물성 뿐

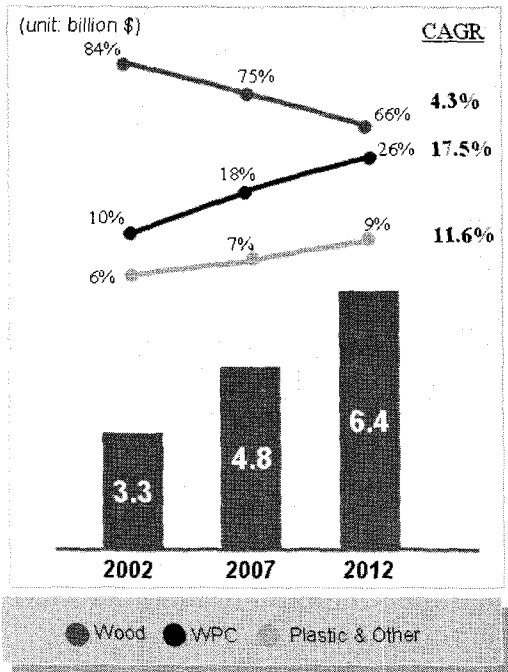


Fig. 3 북미 Deck시장 소재별 성장예측(Freedonia Group Research Report, 2003).

아니라 압출과정에서 Polymer Melt의 Rheology에도 큰 영향을 미친다. 대표적인 결합제로는 두 다른 Functional Group을 가지는 Silane Compounds[10]와 Maleated Grafted Polymer[11]이다. 전자는 다른 복합재료에도 응용되어 잘 알려진 결합제이지만, 후자는 특히 Olefins 계열의 열가소성 폴리머에 다양한 수준으로 Grafting됨으로 필요에 따라 최적화할 수 있는 결합제이다. 실제 Polypropylene과 Polyethylene을 Matrix로 사용하는 대부분의 WPC 소재는 Maleated-grafted Polyolefins를 함유하고 있다. 이러한 종류의 결합제는 이미 상용화되어 있는데 Grafting Degree와 Modified Olefin의 분자량에 따라 그 사용량이 결정되어 진다.

첨가제가 전체 소재 중량의 10%내외가 사용되는 반면 주재료인 목섬유는 그 사용량이 적게는 50%에서 많게는 80%까지 사용되고 있다. 이때, 목섬유의 형상과 크기, 그리고 함유율과 수종은 제품의 물성과 압출생산성에 영향을 미친다[12,13]. 게다가 목섬유의 종류는 최종 제품의 외관과 질감을 결정짓는 중요한 요소이므로 선택에 신중을 기해야 한다. 목섬유의 형상과 크기는 혼합된 상태의 여러 유변학적 물성에 영향을 미친다. 일반적으로 목분의 크기가 작을수록 재료의 점도가 높아질 수 있는데, 이것은 폴리머 Matrix와 목섬유간 접촉하는 단면적이 커짐으로 흐름에 있어 전단력이 증가하는 결과를 가져오기 때문이다. 그러나 적당한 Coupling 효과가 있다면 그 결과는 달

라질 수 있다. 즉, 목섬유와 폴리머가 사이의 Wetting Efficiency가 증가하면 접촉 단면적이 많은 것이 오히려 점도를 떨어뜨리는 결과를 얻을 수도 있는 것이다. WPC 연구 개발에 있어 유변학적 접근은 주로 목섬유 함량에 따른 점도의 증가[14], 목섬유의 수종과 함유량에 따른 Shear flow 성질과 Extensional viscosity의 서로 다른 경향에 대한 분석[15] 등으로 이루어지고 있다. 특히 후자의 경우, Maple과 Pine을 원료로 사용하였고 Capillary Rheometry를 사용하여 점도물성을 측정하였는데, 수종 차이로 인하여 Wall Slip Velocity가 다르다는 결과를 보고하였다. 그러나 그 차이가 목섬유의 화학성분이 달라서 발생한 결과인지, 아니면 목섬유의 크기나 형상에서 발현한 결과인지를 검증하지는 않았다.

이러한 목섬유와 폴리머사이의 계면 성질에 대한 연구는 아직 많이 부족한 상태이다. 그 외에도 이러한 화학적 결합을 통하여 밀제품물성의 균질성과 균일함을 보증하기 위하여 목섬유의 입자분포(Size Distribution)와 일정한 함유율은 관리되어야 하는데, 이러한 우수한 품질의 목섬유를 산업용으로 공급하는 세계적인 회사들이 유럽과 북미에 다수 포진하고 있다. 국내의 경우, 수입된 원목을 재단하여 유통하는 과정에서 많은 톱밥이 부가적으로 발생하기는 하나 대부분 파티클보드(Particle board)나 기타 판상형(Panel type) 목질재료의 주원료로 사용되고 있다. 그러나 국내에서 주로 얻을 수 있는 소경목(Small-diameter woods)을 원료로 사용하여 목섬유 및 목분을 제조한다면 보다 저렴하고 양질의 목섬유 원료를 얻을 수도 있을 것이다.

소재의 Performance는 위에서 열거한 모든 분야의 인자들이 전체적으로 작용하여 얻어지는 결과이다. 기계적 물성의 경우에는 WPC의 휨탄성 (Flexural Modulus of Elasticity)이 기존 목재보다는 낮다. 이는 목재가 수많은 섬유소들이 복잡한 구조로 얽혀있는 천연복합소재라는 것을 기억하면 당연한 결과이지만, 일반적으로 WP가 목재 대비 60~70%수준이라고 여겨진다. 그러나 휨강도(Flexural Modulus of Rupture)는 처방을 통하여 목재와 비슷한 수준으로 개선시킬 수 있다. 목섬유의 고함량으로 WPC는 수분에 의한 치수안정(Dimensional Stability)이 중요하다. 각각의 목섬유가 Polymer Matrix에 의하여 Encapsulation되어 있지만 수분에 오랜 기간 노출되어 있으면 목섬유내로 수분의 침투가 발생한다. 이때 목섬유 세포의 세포내강(Cell Lumen)부터 수분이 채워지게 되고 다음으로 세포벽(Cell Wall) 내부에 결합수가 발생하면서 부피의 팽창이 시작된다. 이를 방지하려고 목섬유 자체를 화학적 처리(Acetylation) 하기도 하는데 압출과정에서 사용하는 결합제는 이러한 수분의 침투를 막아 개선된 치수안정을 달성하게 한다. 자외선으로 인한 소재의 색상변화는 또 다른 내구성의 문제이다. 목섬유에 다량 함유된 Lignin은 폐쇄계 부정형 Polymer로 자외선 저항력이 매우 약하다. 자외선으로 인한 Lignin의 분해

는 일차적으로 색상의 변화를 일으키며 궁극적으로 물성저하를 낳게 되는데 WPC에 있어서는 목재에 비하여 그 저하 정도는 매우 미미한 편이나 색상보전을 위하여 UV 안정제 처방이 필요한 경우가 많다[16].

4. 결 론

WPC는 원목의 장점과 플라스틱의 장점을 두루 갖춘 환경 친화적인 신소재이다. 특히 기존의 목질 판상재료와는 달리 사용하는 Polymer Matrix가 열가소성(Thermoplastic)이라 사용 후 원료의 재활용에도 큰 장점이 있고, 열경화성 고분자의 경우 발생할 수 있는 VOC (Volatile organic compound) 문제에서도 자유로울 수 있다. 게다가 판상(Panell type)만으로 제조되는 기존 목질재료와 달리 다양한 형상으로 제조될 수 있다는 것은 큰 장점이 아닐 수 없다. 이러한 소재의 물성을 개선하려는 여러 연구와 더불어 제품으로서의 부가가치를 높일 수 있는 여러 기술개발에 학계의 관심이 꼭 필요할 때이다. 여러 전문분야의 지식과 기술이 합쳐져 Synergy를 창출함으로 원목자원의 고갈과 수급의 불안정성이 높아만 가는 이때, 물성과 품질이 조절되며 동시에 예측 가능한 이 신소재의 사용이 전 분야에 걸쳐 퍼져나간다면 21세기 자원부족 국가인 한국에 새로운 복합재료 자원이 창출될 것이다.

참고문헌

- 1) Morton, J., "Natural and Woodfiber Composites in North America and Europe," Presentation in the 7th International Conference of Woodfiber-Plastic Composites, Madison, WI, USA, May 19-20, 2003.
- 2) Smith, P.M., "Residential Decking & Railing," Presentation in the conference of Progress in WPC, Toronto, Canada, May 23-24, 2002.
- 3) Morton, J., "WPCs-Putting Innovation on Faster Track," Presentation in 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Madison, WI, USA, May 23-25, 2005.
- 4) Clemons, C., "Interfacing Wood-plastic Composites Industries in the U.S.," Forest Products Journal, June 2002, pp. 10-18.
- 5) Kikuchi, M., "New Woodfiber Plastic Composites from Japan," Presentation in the conference of Progress in WPC, Toronto, Canada, May 23-24, 2002.
- 6) Green, E., "Time to Re-Focus," Presentation in the conference of WPC Viable Oppertunities in Europe, Vienna, Austria, 2003
- 7) Nash, J., "The Outstanding Growth in WPC in Context," Presentation in the conference of WPC Viable Oppertunities in Europe, Vienna, Austria, 2005.
- 8) Crez, P., "The European Decking Market-Potential for Wood Composite Decking," Presentation in Proceedings of the Wood Plastic Composites Conference, AMI, Vienna, Austria, 2003.
- 9) Steward, E.L., "Processing Highly Filled Pre-Compounded Pellets on Single Screw Extruders," Journal of Vinyl and Additive Technology, 2005, pp. 83-86.
- 10) Pickeringa, K.L., Abdallaa. A., Jia, C., and etc., "The effect of silane coupling agents on radiata pine fibre for use in thermoplastic matrix composites," Composites: Part A 34, 2003, pp.915-926.
- 11) Keener, T.J., and Brown, T.K., "Maleated coupling agents for natural fibre composites," Composites: Part A 35, 2004, pp. 357-362
- 12) Gurram. S., Julson, J. L. and etc., "Application of Biorenewable Fibers in Composites," Presentation in the 2002 ASAE/CSAE North Central Intersectional Conference, Saskatoon, Canada, September 27-28, 2002.
- 13) Stark, N., "Effect of Species and Particle Size on Properties of Wood Flour-Filled PP Composites," Presentation in the conference of Functional Fillers for Thermoplastics & Thermosets, Sandiego, CA, USA, 1997.
- 14) Maiti, S.N., Subbarao, R., and Ibrahim, M. N., "Effect of Wood Fibers on the Rheological Properties of i-PP/Wood Fiber Composites," Journal of Applied Polymer Science, Vol. 91, 2004, pp. 644-650.
- 15) Li, T.Q., and Wolcott, M.P., "Rheology of HDPE-wood composites. I. Steady state shear and extensional flow," Composites: Part A, 35, 2004, pp. 303-311.
- 16) Stark, N. M. and Matuana, M., "Ultraviolet Weathering of Photostabilized Wood-Flour Filled High-Density Polyethylene Composites," Journal of Applied Polymer Science, Vol.90, 2003, pp. 2609-2617.