

단 보

폐플라스틱을 이용한 기능성 강화플라스틱의 물성평가

이상우¹ · 이호준¹ · 윤중수² · 최종문^{2,†}

¹주이선세라믹, ²경동대학교 임상병리학과

Assessment of Physical Properties for Reinforced Plastics with Waste Plastics

Sang-Woo Lee¹, Ho-Joon Lee¹, Joong-Soo Yoon², and Jong-Moon Choi^{2,†}

¹Research Center, Leesun Ceramic Co. Ltd, Donghae, 25745, Korea

²Department of Biomedical Laboratory Science, Kyungdong University, Wonju, 26495, Korea

Received August 28, 2017/Revised September 12, 2017/Accepted September 21, 2017

The reinforced plastics to make unit cell as rain storage tank were prepared with waste thermoplastics such as poly ethylene, poly propylene and reinforcing agents. The physical properties such as the strength of tensile, elongation, flexural, impact, hardness and strain of the prepared plastics were investigated. For this purpose, the inorganic reinforcing agents such as talc, calcium carbonate, glass fiber and mixing agent which were blended by them were added to thermoplastics(PE/PP) in order to the reinforced plastics. At this time, the hydrophilic inorganic reinforcing agents were reformed to have the hydrophobic property because they didn't mix each other. The physical properties of a prepared reinforced plastic were varied according to the types and adding amounts of the reinforcing agents. That is, the properties of reinforced plastics such as tensile, flexural, impact, hardness and strain strengths were increased along adding reinforcing agents while its elongation strength was decreased. The physical property of fiber type reinforced plastics was higher than that of particle type if a single reinforcing agent use. However, the physical property of composite reinforced plastic was the highest among them due to add particle and glass fiber characters. The plastic in this work didn't distort in compressive strength test for short and long term load according to underground buried. From the results, the plastic in this work could be used for rain storage unit cell which was reported from previous work.

Key words: Reinforced plastic, Waste thermoplastic, Reinforcing agent, Rain storage tank, Unit cell

1. 서 론

플라스틱은 일상 생활 뿐만 아니라 산업적으로도 중요한 재료로 활용되고 있어 플라스틱의 생산기술 및 수준이 그 나라의 경제력을 좌우할 만큼 비중이 날로 커지고 있다¹⁾. 그러나 대량생산과 소비로 발생된 폐플라스틱과 같은 인공물질은 환경오염을 초래하여 현재 심각한 사회문제가 되고 있다²⁾. 최근까지 사용목적에 다한 플라스틱의 처리방법으로는 소각 및 토양매립 방법으로 처리^{3,4)}되고 있었지만 폐플라스틱의 부피 및 중량을 감소시키기 위해 사용하는 소각처리는 플라스틱의 연소과정에

서 나오는 폐열을 이용한 열병합방식의 발전을 통해 유용한 전력을 생산할 수 있다는 장점은 있으나 다이옥신과 같은 유독 기체의 발생으로 환경오염을 더욱 가속화시켜 왔다⁵⁾. 이에 반해 별다른 전처리과정 없이 시행되는 토양 매립 방법은 자연 분해에 의존하는 방법으로 폐플라스틱의 미관상 문제를 해결할 수 있다는 장점은 있으나 궁극적으로 토양 및 지하수 오염의 원인이 되기도 한다. 최근 미생물에 의해 분해될 수 있는 생분해 플라스틱은 미생물에 의해 분해되는 장점은 있으나 분해되는데 일정한 시간이 걸리는 문제와 상대적으로 생분해 플라스틱의 물성이 약하기 때문에 오히려 더 많은 폐기

[†]To whom correspondence should be addressed.

물이 발생될 가능성이 있다⁶⁾.

보고된 자료에 근거하면 2015년 현재, 국내에서 생산된 폴리에틸렌계 플라스틱은 950만 톤으로 전 세계 총 생산량의 5.5%를 차지하는데 구체적으로는 PE(polyethylene)는 515만 톤으로 세계 4위, PP(polypropylene)는 436만 톤으로 세계 5위에 해당되는 막대한 양이 생산된다⁷⁾. 이들 중 대다수가 1회용 생활용품 생산에 이용되며 거의 1회 사용 후 폐기되므로 폐기물의 양이 엄청나게 발생하고 있다. 따라서 폐 PE/PP를 적절히 활용한다면 PE/PP의 원료인 원유수입 절감과 플라스틱 폐기물로 인한 환경오염방지에 효과적이라 판단된다.

지금까지 폐플라스틱의 재활용방법으로는 단순재생과 화학적 재생방법이 널리 이용되고 있다. 단순재생이란 플라스틱 폐기물을 특성 별로 분리 수거한 후 세척을 통해 재이용하는 방법이므로 재생과정이 단순하고, 처리비용도 저렴한 장점이 있는 반면 분리수거가 제대로 이루어지지 못하는 점과 단순한 세척으로는 재사용이 가능할 정도의 청결을 유지하기 어렵다는 인식 때문에 금속류의 재생법과는 달리 일반인들에게 인지도가 낮다. 또한 원유로부터 생산하는 단가에 비해 폐플라스틱을 재활용하는데 필요한 소요경비가 더 과다하다는 문제 역시 폐플라스틱의 재활용이 활성화되지 못하는 요인으로 작용될 수 있다.

이에 비해 폐플라스틱을 화학적으로 재활용하는 방법은 열분해, 분해중합 등에 의해 고분자 플라스틱을 저분자화하거나 단위체로 환원시키는 방법이다^{8,9)}. 특히 이런 화학적 재처리방법을 응용하여 폐플라스틱을 연료화하는 공정이 개발되어 각광을 받고 있지만 이는 플라스틱이라는 고품위에너지를 연소공정을 통해 재생이 불가능한 저품위 에너지로 전환시키는 방법이므로 무한 자원 재생이라는 관점에서 보면 추천할 만한 방법은 아니라고 본다¹⁰⁾.

폐플라스틱을 재활용하여 산업적으로 응용한 사례로 유럽에서는 폐플라스틱을 압출하여 목재 대용품 생산하고 있고¹¹⁾, 비교적 분리수거가 잘 이루어지는 일본에서도 폐플라스틱은 용도에 맞도록 완벽한 분리가 곤란하므로 연간 12만 톤 정도 배출되는 혼합 산업 폐플라스틱을 적당한 크기로 파쇄한 후 조립질 또는 그레놀화(granulation)하여 1,100°C 정도로 열풍 건조시켜 제철소의 고로용 코크스 대체품 또는 에너지원으로 활용하고 있다¹²⁾.

그러나 지금까지 소개된 방법들에 의해 재활용된 플라스틱들은 다양하게 응용할 수 있을 정도의 구조적 강

도를 갖지 못하여 대부분 생활적 측면에서 재활용된 사례와 연구가 많다. 따라서 경제성을 따져본다면 최선의 방법이 아니며, 또 일부 한정된 플라스틱류에만 활용이 가능하여 다양하지 못하다는 문제점이 있다. 결국 토목 및 건축분야에 다양한 용도로 활용할 수 있는 목적에 부합하려면 재생된 플라스틱류가 일정강도 이상의 물성을 보유해야 한다. 하지만 열가소성 폐플라스틱을 용융시킨 후 몰딩하는 단순 재생법으로는 플라스틱의 물성(특히 강도)을 증가시킬 수 없다. 따라서 국내에서 사용과 폐기량이 가장 많은 PE와 PP 같은 열가소성 플라스틱의 재활용 다양성을 확보하고자 하는 목적에 부합되도록 플라스틱의 물성을 개선시켜 다양한 산업적 용도로 재활용하는 기법이 마련되어야 한다.

그러나 PE 및 PP와 같은 열가소성 플라스틱만으로는 충분한 강도를 확보할 수 없으므로 플라스틱 재생과정에서 적당한 강화제를 혼합 처리한 강화플라스틱을 제조하고, 제조된 강화플라스틱이 일정 강도 이상의 물성을 갖는가를 확인해야 한다. 이것이 가능하다면 이미 전보¹³⁾에서 디자인된 우수저류저장시스템의 단위 셀 유닛 재료로 활용이 가능할 것이다.

따라서 본 연구에서는 폐기된 열가소성 플라스틱인 PE와 PP에 강화제로서 활석(Talc), 탄산칼슘(CaCO₃), 유리섬유 및 이를 적당한 비율로 배합한 복합 강화제를 첨가하여 강화제 종류와 첨가량 변화에 따른 플라스틱 물성변화(인장강도, 신장율, 굴곡강도, 충격강도, 표면경도 및 하중시험)에 대해 고찰하여 합성된 강화플라스틱이 전보¹³⁾에서 디자인된 지하매설용 우수 저류조 시스템의 단위 셀 유닛으로 활용이 가능할지를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

강화플라스틱을 제조하기 위해 사용하는 플라스틱은 재활용을 위해 수거된 폐 PE와 PP 플라스틱을 사용하였고, 강화제로 사용하는 활석은 다원화학 PG-600, 탄산칼슘은 경기화학공업주식회사 KG-1T1, 유리섬유는 (주)일신소재 T-538(EC13-3.0-T538)을 사용하였다.

2.2. 시편제작

본 연구에서 제작한 강화플라스틱은 용융된 PE, PP에 직접 개질된 강화제를 첨가한 후 충분히 교반하여 균일한 상태로 만들고, 마무리로 PE 및 PP 처리를 하여 전체 구조는 샌드위치패널 형태로 제작하였다. 이렇게

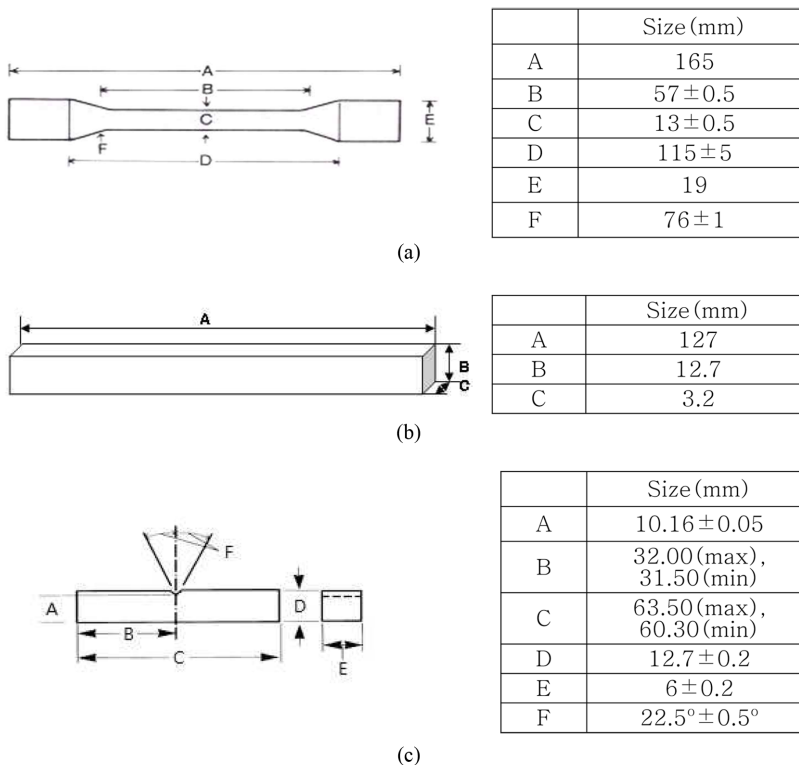


Fig. 1. The specimens of tensile strength (a), flexural strength (b) and Izod impact strength (c).

제작된 재활용 플라스틱의 시편을 미국재료시험학회 (ASTM, American Society for Testing and Materials)의 측정항목에서 요구하는 규격으로 시편들을 제작하였고, 이를 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 친수성 강화제의 개질

소수성 플라스틱에 친수성 강화제를 균일하게 분산되도록 강화제 표면을 개질시키기 위해서 선행연구¹⁴⁾에 제

시된 방법으로 처리하였다.

2.3.2. 강화플라스틱 조성

본 연구에서 제작한 강화플라스틱의 조성은 Table 1에 수록된 조성비로 제작하였다.

2.3.3. 인장강도 시험

미국재료학회 규격시험법(ASTM) D 638에서 요구하는 아령모양의 시편(Fig. 1(a))을 제작한 후 시편의 한쪽

Table 1. The compositions of enforced plastics

Samples	Compositions (%)				
	Waste PE/PP	Enforcing Agents			
		Talc	Glass fiber	Mixed	
				Talc	Glass fiber
A (Reference)	100	0	0	0	0
B	90	10	10	10	0
C	80	20	20	15	5
D	70	30	30	20	10
E	60	40	40	25	15

을 UTM (Universal Testing Machine) 내 측정단자의 물립쇠에 고정시키고, 다른 한 쪽을 분당 0.05, 0.2, 0.5, 2, 20 cm의 속도로 당긴다. 이런 결과로 얻어진 값을 다음 식에 대입하여 인장강도 및 신장률을 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{Tensile strength (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{\text{load at break (kg)}}{(\text{original width, cm})(\text{original thickness, cm})} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Percent elongation (\%)} \\ &= \frac{\text{elongation at rupture (cm)}}{\text{initial gage length (cm)}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

2.3.4. 굴곡시험

미국재료학회 규격시험법(ASTM) D 790에서 요구하는 시험시편(Fig. 1(b))을 제작한 후 시편 중앙에 굴곡하중을 주어 탄성한계 내에서의 응력과 변형의 비율(굴곡탄성율)을 측정하였다.

$$\begin{aligned} \text{Flexural modulus (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{3 \times \left(\frac{\text{the load at the fracture point (N)}}{\text{fracture point (N)}} \right) \times \left(\frac{\text{the length of the support span}}{\text{support span}} \right)}{2 \times \text{width} \times \text{thickness}^2} \end{aligned} \quad (3)$$

2.3.5. 충격시험

미국재료학회 규격시험법(ASTM) D 256에서 요구하는 시편(Fig. 1(c))을 제작한 후 시편을 충격강도시험기 물립쇠에 고정시키고, 햄머로 타격을 가하여 얻어진 수치를 (4)식에 대입하여 아이조드(Izod) 충격강도를 구하였다.

$$\text{Izod impact strength} = \frac{\text{Impact energy (J)}}{\text{thickness of specimen (m)}} \quad (4)$$

2.3.6. 경도시험

미국재료학회 규격시험법(ASTM) D 795에 의해 강철

봉을 예비부하(Miner Road)로 시편표면에 떨어뜨린 후 표면이 약간 파여서 접촉이 좋아지면 눈금을 영으로 맞춘다. 다시 본 부하(Major-Road)를 15초간 가한 후 이를 제거하고, 예비부하는 그대로 유지한다. 이때 15초 동안 가한 부하만큼 파인 정도를 다이얼에 직접 기록하였다.

2.3.7. 하중강도시험

우수저류제품에 대한 압축시험은 단기하중과 장기하중 강도로 구분하여 실시하지만 국내에서는 단기하중 강도 및 장기하중 강도에 대한 시험규격이 없다. 본 연구에서는 단기하중 강도측정에는 플라스틱의 압축시험강도시험(ASTM D695)와 일본 빗물협회에서 규정한 우수저류조의 구조부재의 압축시험방법(Arsit A-1:2008)을 이용하였고, 장기하중 강도측정에는 구조부재의 크리프시험방법(Arsit A-2:2008)을 이용하였다. 이때 사용한 장비의 측정조건을 Table 2에 수록하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강화제의 개질 및 강화플라스틱의 제조

본 연구의 목적은 재활용률이 낮은 열가소성 페플라스틱(PE, PP)을 일정 강도 이상의 물성을 갖는 강화플라스틱으로 제조하여 페플라스틱으로 인한 환경오염 부하량 감소와 경량의 우수 저류조 생산 및 이로부터 파급되는 시공 및 유지관리비의 저감효과를 얻고자 하는 노력이다.

전술한 바와 같이 플라스틱을 강화시키기 위해서는 강화제가 반드시 필요하며 첨가된 강화제는 플라스틱의 물성을 상승시킬 뿐 다른 작용을 해서는 안 된다. 그러나 PE, PP와 같은 열가소성 플라스틱은 소수성이므로 상대적으로 친수성인 강화제를 직접 첨가하면 분자 사이에 작용하는 힘의 차이 때문에 플라스틱 입자와 강화제 사이에 상호작용이 어려워 균질한 강화플라스틱 제조가 불가능하다.

현재 상용화되어 있는 강화플라스틱은 Fig. 2과 같은

Table 2. Instrumental conditions of load strength measurement

Servo-hydraulic dynamic materials testing system	
Load frame assembly	10 kN, 2 column or more
Electro-hydraulic actuator	100 kN (10 ton), 150 mm stroke
Servo valve	40 L/min high response or more
Dynamic load cell	Dynamic rating - ±10 kN (±10 ton)
	Static rating - ±200 kN (±20 ton)

Strain module of conditioner and digital controller for extensometers.

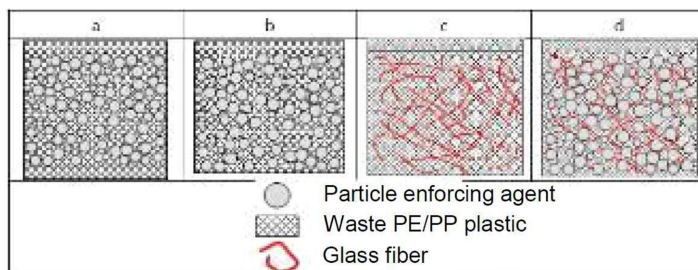


Fig. 2. The structures of enforcing plastics.

단면구조를 가지고 있다.

Fig. 2에서 보듯이, 제품(a)의 상하부는 PE, PP 재질로 되어있고, 중간층에만 강화제 처리를 한 것(층상 강화플라스틱)이다. 이렇게 강화플라스틱을 제조하면 PE와 PP 재질인 상하부와 중앙의 강화제가 처리된 부분 사이의 물성차이가 많이 날 경우 급격한 온도변화에 의해 접합면의 탈피가 발생할 가능성이 많다. (b)에는 (a)와 같이 강화된 플라스틱을 중앙에 넣고, 상하부에는 PE/PP 플라스틱으로 처리한 구조(입자 강화플라스틱)이다. 이에 비해 (c)는 유리섬유를 강화제로 사용한 경우로서 유리섬유를 직접 플라스틱 용융액에 가하여 제조한 것(섬유강화플라스틱)이고, (d)는 유리섬유와 활석을 혼합 처리한 강화플라스틱(복합강화 플라스틱)이다.

제시된 다양한 강화플라스틱은 각각 장단점이 뚜렷한 특성이 있으므로 가급적 다양한 용도에 모두 사용할 수 있는 강화플라스틱을 제조할 필요가 있다. 본 연구에서는 지하매설용 우수저류조의 단위 셀로 사용할 목적이므로 강화플라스틱은 전 방위적인 하중에 충분히 견딜 수 있는 물성을 가져야 하므로 여러 가지 강화플라스틱 구조 중에서 (c)와 (d) 같은 플라스틱구조를 갖도록 노력하였다.

따라서 무엇보다 먼저 강화플라스틱 제조에 사용하는 첨가재료들의 이질화없이 균질화를 증가시켜야 하므로 친수성인 무기질 강화제를 소수성으로 개질시켜야 한다. 이때 탄산칼슘은 고온에서 쉽게 분해하여 이산화탄소 기체가 발생하고 이를 제어하기가 곤란하므로 연구에서 배제하였다.

친수성 강화제와 소수성 플라스틱을 혼합시킨 강화플라스틱의 물성은 제품 성분의 함유량 문제보다는 제품의 물성문제로 인해 구조적 강도에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 친수성보다는 소수성이어야 한다. 따라서 친수성 강화제를 소수성으로 개질시켜 소수성 플라스틱

과 혼합이 잘 이루어지게 해야 한다. 선행연구¹⁴⁾에서와 같이 계면활성제인 스테아린산을 에탄올에 용해시켜 희석시킨 후 친수성 강화제를 가하고, 약 2시간 이상 저어 주었다. 계면활성제와 강화제를 충분히 혼합시킨 후 이를 건조시켜 강화제의 표면을 개질 완료하였다. 또 폐 PE/PP 플라스틱을 약 220~230°C에서 용융시킨 후 표면 개질된 강화제를 서서히 플라스틱 용융액에 가하여 3시간 이상 균일하게 혼합되도록 하였다. 이때 기포가 발생할 가능성이 있으므로 감압상태에서 작업하였고, 완전히 균일혼합이 이루어지면 실온에서 서서히 냉각시켰다.

3.2. 인장시험

인장특성은 시편에 외력(인장하중)을 가하여 그 재료가 파괴될 때까지의 응력과 변형(Stress-Strain)의 관계로 표시되는 기계적 성질이다. 따라서 제작된 강화플라스틱의 인장시험은 강화제가 포함되지 않은 열가소성 플라스틱 시료를 기준으로 강화제의 조성비에 따라 강화제를 단독으로 사용하였을 경우와 2종 이상의 복합 강화제를 사용할 때 강화플라스틱이 보이는 물성의 변화를 평가하였다(Fig. 3).

Fig. 3에는 Table 1에 제시된 강화플라스틱 조성으로 제작된 시편들의 인장강도와 신장율에 대한 실험결과를 나타내었다. PE/PP 플라스틱에 강화제의 첨가비율이 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 신장율은 이와는 반대로 배합비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

이처럼 연성플라스틱인 PE/PP에 강화제를 첨가하게 되면 인장강도가 모두 증가하는 경향을 보인 것은 표면 개질시킨 입자상이나 섬유상 강화제 모두 플라스틱 입자와의 친화력이 증가하여 응력과 강도를 모두 증가시켰다고 판단된다. 또한 입자 보다는 섬유 강화제를 사용하면 입자 강화제를 사용했을 때에 비해 인장강도가 더

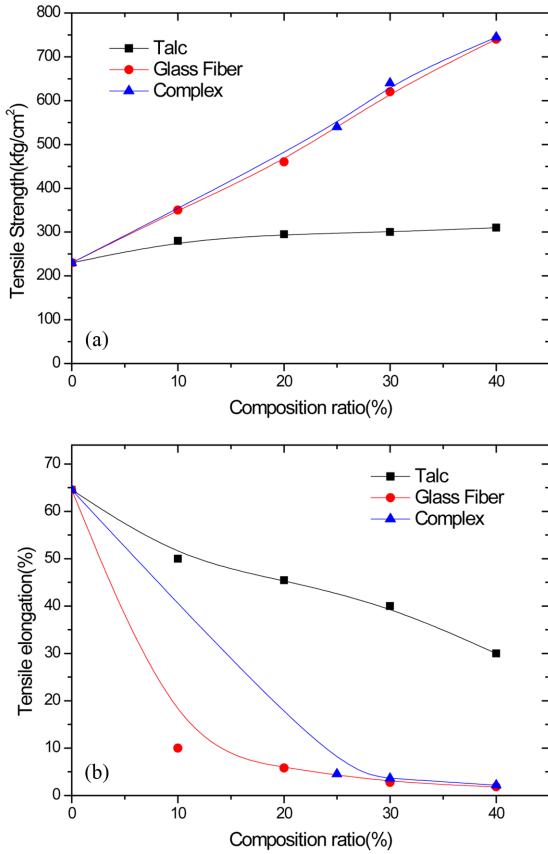


Fig. 3. Variation of the tensile strength (a) and elongation (b) according to the composition ratios of enforcing agents.

개선되는 점을 볼 수 있었다. 이는 섬유강화제가 플라스틱에 첨가되면 플라스틱 입자들 속에서 넓게 분포되어 그들 사이의 친화력이 더 증가되기 때문으로 생각된다. 이런 효과는 입자와 섬유상을 동시에 사용한 복합 강화제의 효과를 보면 이해할 수 있을 것이다.

그러나 이에 비해 신장력에 대한 저항성은 모두 감소하였는데 이는 연성플라스틱에 강화제가 첨가되면 강화제 입자 또는 섬유가 플라스틱의 친화도를 증가시켜 단단해짐으로서 신축성이 감소하는 결과로 보인다.

3.3. 굴곡시험

굴곡특성은 물질이 영구적인 변형 및 파괴되지 않고, 얼마나 휘 수 있는가를 나타내는 척도로서 플라스틱에 굴곡하중을 걸어 탄성한계 내에서 부여되는 응력과 이에 따라 나타나는 변형의 비율이다.

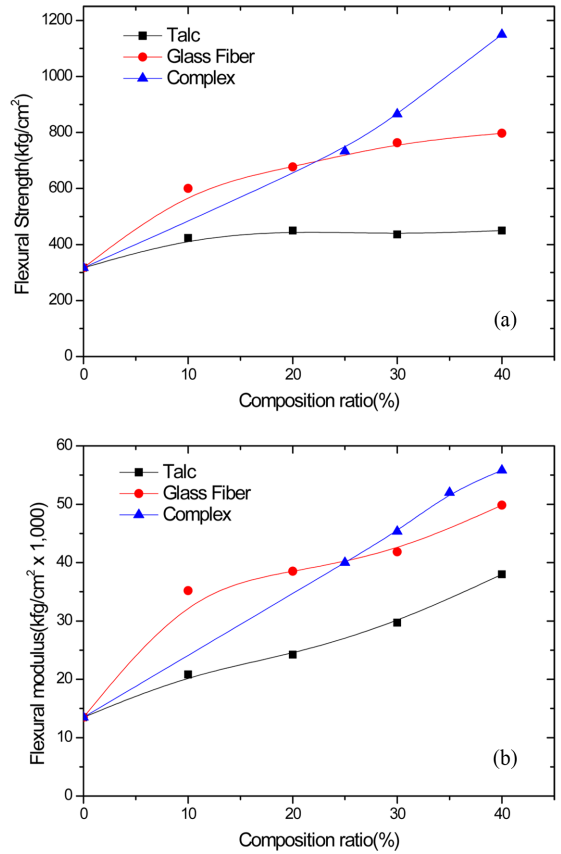


Fig. 4. Variation of the flexural strength (a) and modulus (b) according to the composition ratios of enforcing agents.

이를 위해, 시편을 2인치 떨어진 두 지지대 위에 올려 놓아 정해진 속도로 시편의 중심에 힘을 가함으로서 파괴점에서의 힘을 기록한다. 이 힘이 굴곡강도를 나타내며, 대부분의 열가소성 수지는 시편의 심한 변형에도 불구하고 파괴되지 않기 때문에 정확한 굴곡강도를 얻을 수 없으므로 약 5%의 변형도가 발생했을 때를 탄성율로 대신해서 사용하였다. 또한 시편이 파괴되지 않을 경우 항복점에서의 하중을 굴곡하중으로 생각하고 굴곡강도를 구하였다(Fig. 4).

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 굴곡강도 역시 인장강도와 같은 경향성을 보였다. 특히 섬유상 강화제를 첨가하게 되면 물질이 탁월하게 개선되는 점을 볼 수 있었다.

이는 인장강도의 증가현상과 같이 강화제의 첨가로 플라스틱 수지와 강화제 입자 간의 친화력이 증가해서 나타나는 현상으로 설명될 수 있다¹⁵⁾. 또 입자상에 비해 섬유

유상 강화제가 더 많은 굴곡강도 증가현상이 나타났는데 이도 역시 섬유상이 입자상에 비해 접촉면적이 증가했기 때문으로 판단된다.

3.4. 충격시험

충격특성은 물체가 충격을 받았을 때 나타나는 저항에 대한 강도를 나타내며, 열경화 및 열가소성 수지의 기계적 성질을 대표하는 특성이다. 이는 인장강도처럼 시료 파단시의 응력으로 나타내지 않고 파단 시에 소요되는 총 에너지나 시료의 단위길이 당 흡수된 파단에너지로 나타낸다.

여기에서는 페 PE/PP 강화플라스틱의 충격시험으로 강화제가 포함되지 않은 기준시료를 참고하여 강화제의 조성비에 따른 물성변화를 관찰하였다(Fig. 5).

Fig. 5에서 보듯이, 충격강도는 인장강도, 신장율, 굴곡강도와는 다소 다른 경향성을 보였다. 즉, 강화제의 첨가로 인해 충격강도는 인장강도와 같은 요소인 경도를 급격히 증가시켰지만 강화제의 혼합비율이 30%를 초과하게 되면 강화제의 영향으로 플라스틱의 강도가 증가하는 대신 신장율이 감소되는 영향 때문인지 충격강도가 감소하였다. 이런 경향성은 입자상 강화제를 사용했을 때에 비해 섬유상 강화제를 사용할 경우 감소율이 더 크게 나타났다. 이는 강화제의 특성 때문으로 판단되는데 이 결과로부터 연성플라스틱에 강화제를 첨가하여 강화플라스틱을 제조할 때 강화제의 최적 혼합비가 존재한다는 사실을 알게 되었다. 즉, 연성플라스틱의 물성을 변화시킬 때 강화제의 혼합비는 30%를 초과하면 본 연구에서 목적하는 바와 같은 강화플라스틱의 물성 조절

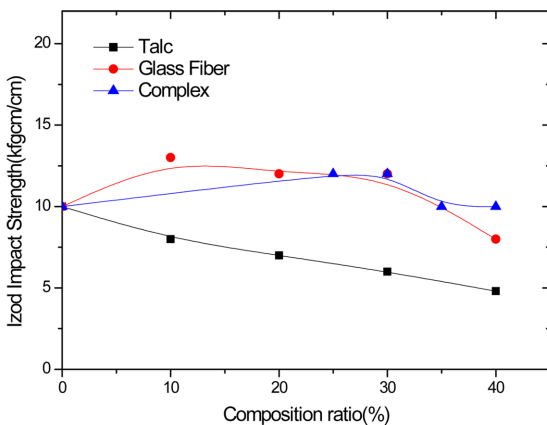


Fig. 5. The impact strength according to the composition ratios of enforcing agents.

이 곤란하다는 점을 알게 되었다.

3.5. 경도시험

경도는 침투, 마멸 및 굽힘 등에 대한 저항의 척도로 경도가 높을수록 내마모성은 증가하고, 수명이 길어진다. 또한 밀도의 증가에 따라 경도는 현저히 증가하고, 용융 지수가 낮아지면 약간 증가하는 경향이 있다.

먼저 기준시료인 PE/PP 플라스틱은 연성이기 때문에 표면경도 측정이 불가능하여 이에 대한 평가는 생략하였지만 예상되는 바와 같이 경도 역시 인장강도와 같은 요소이므로 강화제의 첨가량이 증가할수록 향상되는 결과를 얻을 것으로 판단된다.

Fig. 6에서 보듯이, 예상했던 바처럼 강화제의 첨가량이 증가할수록 강화플라스틱의 표면경도가 서서히 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다. 따라서 지금까지의 결과로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다(Table 3).

3.6. 강화플라스틱의 하중강도 평가

3.6.1. 단기하중강도

우주저류시스템 유닛은 저류조 구조체의 단위성분이므로 이들로 저류조를 구성하게 되면 적당한 내력을 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 제시된 방법으로 제조된 단위 유닛에 대해 압축시험을 시행함으로써 단위 유닛의 내력을 파악하였다.

압축시험은 단기하중강도와 장기하중강도로 구분하여 시행하였다.

Table 2에 제시된 기기 조건을 바탕으로 본 시험에서의 재하 속도(Loading rate)는 1분당 10 mm 정도의 일

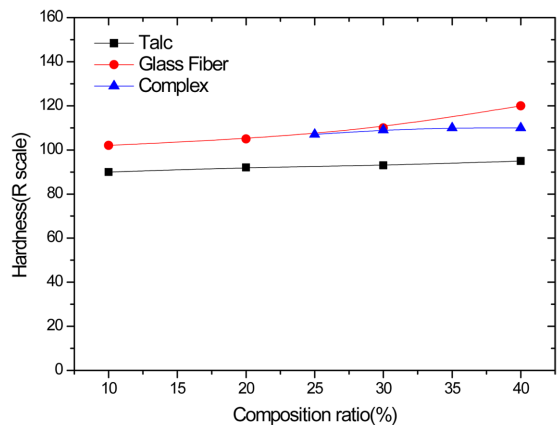


Fig. 6. The surface hardness according to the composition ratios of enforcing agents.

Table 3. Assessment of enforcing plastics according to the types and adding amount of enforcing agents

Test items	Tendency
Tensile strength	Mixed = Fiber > Particle
Elongation rate	Particle > Mixed = Fiber
Flexural strength	Mixed > Fiber > Particle
Impact strength	Mixed ≥ fiber > Particle
Surface hardness	Fiber ≥ Mixed > Particle

정속도로 실시하였고, 재하 시간당 변위를 실시간으로 측정하였다. 또한, 우수저류제품은 구조부재로서의 역할을 하므로 상관전체에 하중이 가해졌을 경우 내력을 파악할 필요가 있다. 따라서 시험에서는 시험체의 상면 및 하면에 시험체의 크기(가로 50cm × 세로 50cm)와 같은 철판을 설치하였다.

한편, 시험에 사용한 저류조 유닛은 전보¹³에 보고된 바와 같은 디자인에 의해 제조된 중앙기둥과 보조기둥 4개인 모델을 이용하였다.

먼저 전보에서 디자인한 구조처럼 주 기둥 1개와 보조 기둥 4개로 된 유닛에 압축강도는 360 kN/m²로 시

험장치의 최대 압축강도의 한계치(10톤)까지 하중을 부과하였으나 단위 유닛 시험체에는 변형이나 손상이 전혀 발생되지 않았다. 따라서 보조기둥 4개를 제거한 중앙의 주 기둥 하나만으로 한 열악한 조건을 부과하여 변형률을 검토해 보았으나 마찬가지로 장치의 최대압축강도의 한계치까지 하중을 가하더라도 저류조 유닛의 변형은 발생되지 않았다.

3.6.2. 장기하중강도

우수저류제품은 지하에 설치되어 장시간 하중을 받는 상태에서 사용하므로 크리프 파괴를 일으킬 가능성이 있다. 이를 위해 크리프 시험을 통해 구조부재의 장기적인 변형을 측정함으로써 장시간 연속사용에 대해 플라스틱 단위유닛의 내구성을 판단해야 한다. 장기하중시험은 일본빛물협회에서 규정한 우수저류제품의 구조부재의 크리프 시험방법(Arsit A-2:2008)을 이용하였다.

장기하중시험에서 시험체의 상부에 무게 추를 설치하고 시험시 0.1 mm 이상의 정밀도를 가진 측정기로 시험체의 재하 방향의 길이변화를 측정하였고, 상부의 무

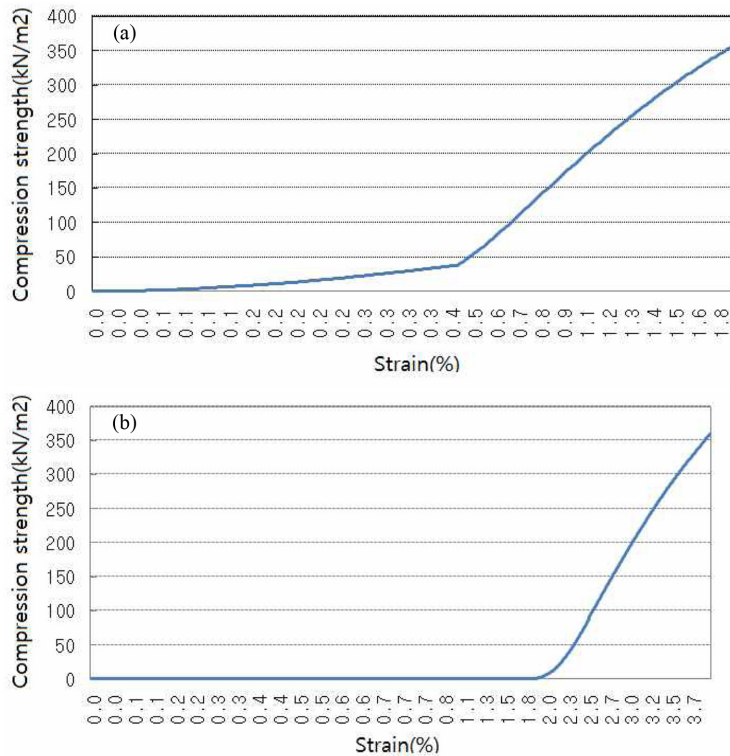


Fig. 7. Variations of the strain according to compressive strength; (a) with a main pillar and four assist pillars, (b) with a main pillar.

계 추 무게는 단기하중시험의 압축강도의 무게로 하였다. 재하 시험은 1,000시간 이상 실시하였으나 아무런 변형이 발견되지 않았다.

이로써 비록 연성 플라스틱에 강화제를 첨가한 강화플라스틱이라도 연약할 것이라는 선입견을 바꿀 수 있을 정도로 강한 구조적 강도를 갖는 것으로 나타났다.

4. 결 론

지하매설용 우수 저류조 탱크 유닛 셀 제작을 위해 PE/PP 플라스틱에 강화제를 첨가하여 제조된 강화플라스틱의 강화제의 종류 및 첨가량에 따라 강화플라스틱의 물성변화를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 페 PE/PP 플라스틱에 강화제를 첨가하여 강화플라스틱을 제조할 때 플라스틱의 특성이 경질화되면 인장강도, 굴곡강도 및 굴곡 탄성율을 증가시켜 고분자물질의 물리적 강도를 강화시키는 상승작용을 나타내었으나 신장율과 충격강도는 약화되었다.

2. 강화제의 종류에 따라 나타나는 물성변화는 강화제 종류에 독립적으로 의존하는 경향과 배합비율의 한계를 알 수 있었다. 즉, 입자상 강화제보다 섬유상 강화제가 효과적이었고, 강화제의 배합비율이 30%를 초과할 경우 오히려 플라스틱의 물성이 저하되는 현상을 야기하였다. 전체적인 특성으로 판단할 때 강화제의 조성 배합률이 30% 이내에서는 입자상 강화제보다는 섬유상 강화제가 더 우수한 물성을 나타내었다.

3. 열가소성인 연성플라스틱에 강화제를 첨가하여 제조한 강화플라스틱의 물성과 이를 이용한 구조체에 대한 하중강도 시험을 한 결과 콘크리트 우수 저류조 설비를 대체할 수 있을 정도의 강도를 갖는 것으로 판단된다.

4. 본 연구에서 제안한 페 PE/PP 플라스틱에 강화제를 첨가하여 강화플라스틱을 제조할 때 강화제의 물성과 강화제의 조합 및 배합량에 따라 페 PE/PP 플라스틱의 선택적 특성을 강화시킬 수 있었다.

5. 환경오염 부하가 크지만 강화제로 활용가능한 부자재를 이용한 강화플라스틱 제조기법에 본 연구기법을 응용할 가능성이 충분히 있다고 볼 수 있다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청의 지원으로 수행되었습니다 (NEMA-기반-2011-3).

참고문헌

1. G. Kumar, "Growth Performance and Productivity of Rubber & Plastic Products Industry in Punjab", *Annals of the University of Petrosani, Economics*, **2010**, 10, 157-168.
2. J. G. B. Derraik, "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review", *Marine Pollution Bulletin*, **2002**, 44, 842-852.
3. R. D. Leaversuch, "Chemical recycling brings real versatility to solid-waste management", *Modern Plastics*, **1991**, 68, 40-43.
4. K. Yokoyama, T. Onda, S. Kashiwakura, T. Nagasaka, "Waste input-output analysis on landfill mining activity", *Materials Transactions*, **2006**, 47, 2582-2587.
5. R. J. Pasek, D. P. Y. Chang, A. D. Jones, "Investigation of thermal decomposition of chlorinated polymers", *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, **1996**, 13, 23-38.
6. W. Watch, *Plastics in the UK economy London*, UK: Waste, **2003**, Watch & Recoup.
7. C. H. Choi, I. S. Kim, "The current status and future prospects of Korean polyolefin industry", *Polymer Science and Technology*, **2016**, 27, 484-493.
8. P. T. Williams, E. Slaney, "Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures", *Resources, Conservation and Recycling*, **2007**, 51, 754-769.
9. S. S. Richard, "Polymer recycling: Opportunities and limitations", *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **1992**, 89, 835-838.
10. A. Demirbas, "Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasolinerange hydrocarbons", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **2004**, 72, 97-102.
11. E. B. Mano, C. M. C. Bonelli, M. A. Guadagnini, S. J. M. Luiz, "Plastic wood from urban waste recycled plastics as a substitute for lumber", *Polim Ciência Tecnologia*, **1994**, 4, 19-24.
12. K. Kato, S. Nomura, H. Uematsu, "Waste plastics recycling process using coke ovens", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **2003**, 5, 98-101.
13. S. W. Lee, D. K. Nam, J. M. Choi, "Simulation on loading strength of rainwater storage tank unit", *Journal of the Korean Society of Safety*, **2013**, 28, 107-113.
14. C. W. Jeon, S. C. Choi, J. H. Bang, S. W. Lee, Y. N. Jang, "Surface modification of calcium carbonate obtained by FGD-gypsum carbonation", *Appl. Chem.*, **2012**, 16, 37-40.
15. M. S. Cho, Y. K. Lee, "Polymer nanocomposites using nano clay", *Prospectives of Industrial Chemistry*, **2006**, 9, 22-36.