

廢自動車 破碎 殘留物을 利用한 固体燃料의 製造研究

†李華永 · 吳鐘基 · 金成奎

韓國科學技術研究院 金屬工程研究센터

Preparation of Refuse-Derived-Fuel from Automobile Shredder Residues

†Hwa-Young Lee, Jong-Kee Oh and Sung-Gyu Kim

Metals Processing Research Center, Korea Institute of Science & Technology, P. O. Box 131,
Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

요 약

폐자동차 shredder line에서 발생한 ASR 재질을 사용하여 가열성형법으로 RDF 시편을 제조하기 위한 실험을 수행하였다. 성형 실험은 ASR 재질 가운데 플라스틱, 섬유 및 스펀지의 3종을 선택하고 이들을 미리 크기 10 mm 이하로 절단하여 사용하였으며, 성형용 mold는 직경 40, 60 및 80 mm의 3종류를 사용하였다. 실험결과 가열온도, 가열시간 및 재질 혼합비가 RDF 성형에 중요한 변수로 나타났으며, 가열온도가 높을수록 또한 스펀지 함량이 낮을수록 성형상태는 양호하였다. RDF 시편의 성형밀도는 성형조건에 따라 0.5~0.9gr/ml의 범위인 것으로 확인되었으며, 스펀지 혼합비율이 클수록 성형밀도는 낮았다. RDF 성형시편의 파괴강도는 대체로 0.8~3.0MPa의 값을 보였으며, 성형밀도가 증가할수록 강도가 향상되었다. 한편, 가열온도가 높을수록 ASR 재질의 용융부위가 늘어나 성형밀도가 증가하며, 이에 따라 RDF 시편의 파괴강도는 상대적으로 높아지는 것으로 나타났다.

주제어: 폐자동차, ASR, 가열성형, RDF, 파괴강도

Abstract

A study on the preparation of RDF with ASR materials from shredder line of end-of-life vehicles has been performed by using hot molding method. ASR materials used in the work were plastics, fibers and sponge which were cut by less than 10 mm in size prior to hot molding and 40, 60 and 80 mm mold in diameter were employed for RDF forming. It was found that heating temperature, heating time and mixing ratio of materials played an important role in the hot molding of ASR materials. Density of RDF samples prepared in the work was in the range of 0.5~0.9 gr/ml depending on the hot molding conditions and it was decreased with increase in the content of sponge. Breaking strength of RDF samples was observed to 0.8~3.0MPa and it was also increased with increase in density of RDF samples. Finally, when heating temperature was elevated, density of RDF was increased due to increase in molten part of ASR materials which resulted in the enhancement of breaking strength of RDF.

Key words: end-of-life vehicles, ASR, hot molding, RDF, breaking strength

1. 서 론

폐자동차를 shredder line에서 파쇄하고 철 및 비철금속을 magnetic separation(MS)과 eddy current separation(ECS) 등을 통해 분리하고 나면 파쇄 잔류물인 이른

바 ASR(automobile shredder residues)이 남게 된다.¹⁻³⁾ 이와 같은 폐자동차 파쇄 잔류물은 플라스틱, 고무, 섬유류 및 스펀지(대부분 polyurethane foam) 등의 가연성 물질이 대부분으로서, 이들은 잠재적인 연료 에너지로의 가치를 지니고 있다.^{4,5)} 현재, 국내의 폐자동차 shredder 업체에서 발생하는 ASR 양은 연간 수만톤으로 추정되고 있으나, 아직까지 ASR의 연료화는 이루어지지 않고 거의 전량을 매립에 의존하고 있는 실정이다. 그러나, 향

† 2003년 4월 15일 접수, 2003년 7월 11일 수리

† E-mail: hylee@kist.re.kr

후 환경오염에 대한 규제가 더욱 엄격해지고 선진 외국의 폐자동차 재활용 비율 강화에 따라 조만간 국내에서도 이에 대한 대비가 마련되어야 할 것으로 예상된다.⁶⁻⁷⁾

독일 및 일본에서는 폐자동차 파쇄 잔류물을 연료로 활용하여 발전소를 운용하기 위한 시도도 이루어지고 있으나,⁵⁾ 국내에서는 관련 기술의 미비로 인하여 이에 대한 검토조차 하지 못하고 있는 상황이다. ASR의 연소 혹은 소각시 나타나는 가장 큰 문제는 PVC 등에 함유된 염소성분으로 인하여 배기가스 중에 HCl 가스가 발생하는 문제와 미처 분리되지 않은 폐전선류 등에서 기인하는 금속 성분의 잔류문제를 들 수 있다.

국내의 경우 ASR을 열 에너지로 사용하기 위한 시도가 시멘트업체 및 비철금속 제련업체를 중심으로 몇 차례 이루어진 바 있으나 ASR 중의 염소함량 문제 때문에 실용화까지는 이르지 못하고 있으며, 특히 연료로 사용하기 위해서는 ASR을 운반 및 투입하기가 적당하도록 성형을 하여야 하는데 현재 국내에는 ASR을 원료로 한 RDF(refuse derived fuel)⁸⁻¹⁰⁾ 성형기술이 제대로 확립되어 있지 않아 이의 활용에 애로요인으로 작용하고 있다.

본 실험에서는 국내 폐자동차 shredder line에서 발생한 ASR을 원료로하여 RDF로 제품화하기 위한 기초실험으로서 우선 ASR 중의 플라스틱, 섬유 및 스펀지를 선별하여 이를 분쇄하고 cylinder type의 mold를 사용한 가열성형방법으로 고품연료 제조실험을 실시하였으며, 가열온도, 성형압력, mold diameter 및 재질 혼합비 등 성형 조건의 영향을 검토하여 향후 ASR의 RDF 상용화에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 시료

폐자동차 파쇄 잔류물을 원료로 사용한 RDF의 제조 실험을 위하여 본 실험에서는 국내 shredder 업체의 ASR 시료를 채취하여 재질선별을 실시하였다. ASR을 그대로 사용하지 않고 재질을 선별분리한 이유는 실험 목적상 순수 재질의 혼합비에 따른 영향을 조사하기 위

한 것으로서, 본 실험에 사용한 재질은 ASR 가운데 큰 비율을 차지하는 플라스틱, 섬유 및 스펀지를 우선 선정하였다. Table 1은 RDF 제조실험에 사용한 플라스틱, 섬유 및 스펀지의 발열량 및 화학분석²⁾ 결과를 나타낸 것으로 발열량에 있어서는 플라스틱이 9,800 kcal/kg으로 가장 높은 반면 섬유류가 4,700 kcal/kg으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한, RDF에서 가장 문제가 되는 염소성분은 PVC 등의 영향으로 역시 플라스틱이 가장 높아 3.94 wt%가 함유되어 있었으며, 섬유류와 스펀지는 비교적 염소함량이 낮았다. 한편, 회분함량은 섬유류가 20% 이상을 차지하고 있었으며, 플라스틱과 스펀지는 10% 내외의 회분함량을 나타내고 있었다. 이와 같이 선별분리된 플라스틱, 섬유 및 스펀지 시료는 절단기를 사용하여 가로, 세로 각 10 mm 이하의 크기가 되도록 미리 입도를 조절하여 성형실험을 실시하였다.

RDF 제조를 위한 성형용 mold는 직경 40, 60 및 80 mm의 3종류를 사용하였으며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 mold 내부에 열선을 장착하여 직접 mold를 가열

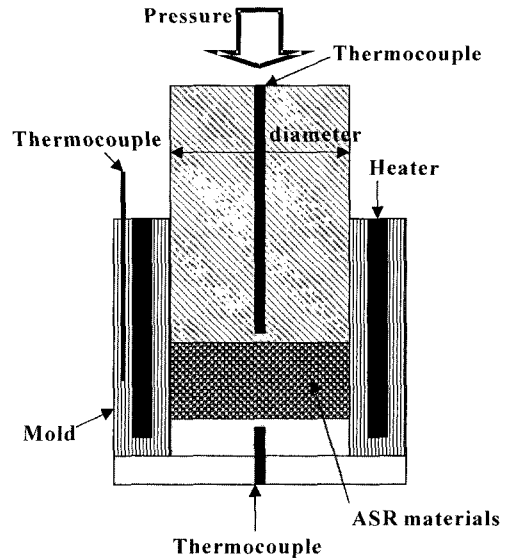


Fig. 1. Configuration of hot molding of ASR materials.

Table 1. Analysis of ASR materials used in the work. (unit: wt%, kcal/kg)

ASR materials	Cl	S	Ash	Calorific value
Plastics	3.94	0.17	7.85	9,800
Fiber	0.42	0.56	23.5	4,700
Sponge	0.24	0.16	11.8	6,100

하는 방법으로 가열성형을 하였다. 성형 방법은 우선 mold에 열전대를 삽입하고 준비된 혼합비에 따라 플라스틱, 섬유 및 스폰지 시료를 정량하여 직경 40 mm의 경우 20 gr, 60 mm의 경우 45 gr, 또한 80 mm의 경우 80 gr을 혼합하여 mold에 채운 다음 press에 위치시키고 성형압력까지 가압한다. 이 상태에서 heater를 작동시켜 mold 온도가 정해진 온도까지 도달한 다음부터 일정시간을 유지시켰다. 시편의 가열온도는 mold 직경에 따라 110~210°C 범위에서, 또한 성형압력은 2~8 MPa의 범위에서 실시하였다. 가열이 끝난 시편은 떨어진 압력을 다시 성형압력까지 재상승시킨 다음 heater를 끄고 약 30분간 자연냉각시켰다. 이와 같은 방법으로 제조한 RDF 시편은 mold에서 꺼내 1일 이상 보관하였다가 성형밀도와 파괴강도를 측정하였다. 시편의 파괴강도는 평탄면 위에 받침대를 시편 양 밑면에 위치시키고 시편 중앙 상부로부터 하중을 가하여 시편이 파괴되는 시점의 압력을 측정하는 방법을 택하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. ASR 재질의 가열성형 특성

Fig. 1의 장치를 이용하여 플라스틱, 섬유 및 스폰지의 ASR 재질을 가열성형하는 경우 주목할 만한 점은 성형에 사용된 재질의 특성상 열전도율이 매우 낮기 때문에 mold 온도와 성형시편의 온도 편차가 크게 벌어진다는 것이다. 본 실험에서는 mold 온도, 시편의 윗부분 온도와 및 아랫부분 온도를 각각 측정하였으며, 온도 제어는 mold 온도를 기준으로 설정하였다. 이때, 시편 윗부분과 아랫부분 온도는 각각 시편경계로부터 3 mm 떨어진 위치에서 측정하도록 설계하였는데, 측정결과 두 부분의 온도편차는 약 2~3°C 범위로서 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. Fig. 2는 본 실험에서 ASR 재질의 가열성형 시 온도변화 추이를 도식화하여 나타낸 것으로서, 이 그림에서 보는 것처럼 mold 온도와 시편온도는 꾸준한 편차를 가지고 진행되는 것으로 관찰되었다. 즉, 상온에서 각각 출발하여 설정온도까지 mold 온도가 상승하는 동안 시편온도도 편차를 가지고 상승하며 가열시간을 경과하여 heater를 끄면 시편온도는 어느 정도 더 상승하다가 최대온도에 도달한 후 냉각되는 추세를 보였다. 측정결과 설정온도와 최대 시편온도간의 편차는 mold 직경 등의 실험조건에 따라 변화는 있으나 약 20~60°C의 차이가 있었으며, 본 실험에서 RDF 시편의 가열온도는 최고 시편온도를 기준으로 하였다.

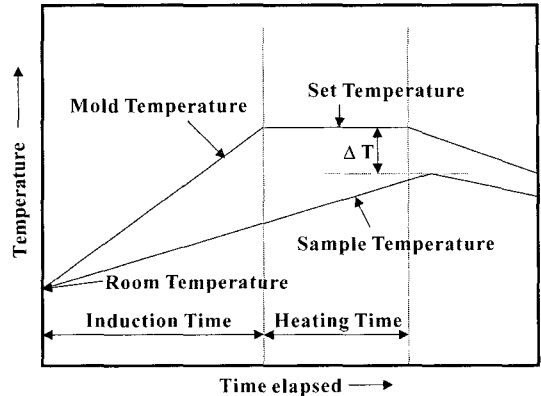


Fig. 2. Typical temperature profile with hot molding time in the work.

Fig. 3은 ASR 재질을 사용하여 가열성형법으로 제조한 RDF 시편의 사진을 보여주는데, Fig. 3(a) 및 Fig. 3(b)는 가열온도 190°C, 성형압력 5MPa, 가열시간 5 min에서 플라스틱:섬유:스폰지의 혼합비율을 각각 1:1:1 과 2:2:1로하여 제조한 RDF 시편을 보여주고 있다. 이 경우 사진에서 보는 것처럼 양호한 성형상태를 관찰할 수 있었으나, Fig. 3(c) 와 Fig. 3(d)와 같이 가열온도 145°C에서 혼합비율을 1:1:1 과 0:0:1로 한 경우에는 성형이 불완전하거나 혹은 전혀 성형이 되지 않는 것으로 나타났다. 실험결과 가열온도가 낮을수록 또한 스폰지 함량이 높을수록 이와 같이 성형상태는 불량한 것으로 나타났으며, 이것은 ASR 재질이 성형되기 위해서는 바인더 역할을 하는 플라스틱과 섬유류가 어느 정도 용융상태가 되어야 하는데 가열온도가 너무 낮거나 혹은 스폰지 함량이 높을 경우에는 이 조건을 충족시키지 못하기 때문으로 사료된다. 이와 같이 성형이 가능한 영역은 가열온도, 시간, 재질 혼합비 등의 제반 성형변수에 따라 차이가 있으며, 특히 mold 직경이 클수록 최고 시편온도가 비교적 낮은 영역에서도 성형이 이루어지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 mold 직경이 크면 그만큼 induction time 이 증가하여 ASR 재질이 가열될 시간을 충분히 주기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험에서는 여러 가지 성형조건에서 RDF 제조실험을 실시한 후 그 가운데 성형이 완전히 이루어진 RDF 시편만을 대상으로 성형밀도와 파괴강도를 측정하였다.

3.2. ASR 재질 혼합비의 영향

Fig. 4는 플라스틱:섬유:스폰지의 혼합비를 변화시키

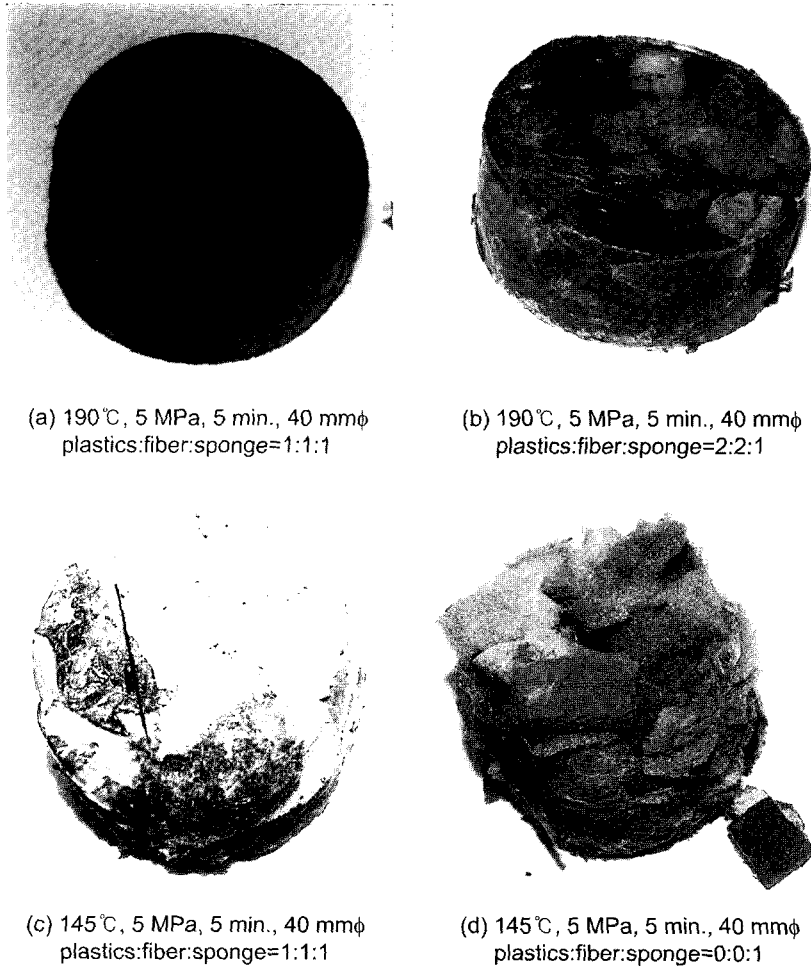


Fig. 3. Photos of RDF samples prepared by hot molding method.

면서 각각 성형압력 2, 5 및 8 MPa에서 가열성형한 RDF 시편의 성형밀도를 나타낸 것으로써, 그림에서 보면 스폰지 혼합비율이 클수록 밀도가 작은 것을 알 수 있었다. 즉, 스폰지 혼합비율이 40% 인 경우 대체로 0.6~0.8 gr/ml 의 밀도를 보이나 20%로 낮아지면 0.8~0.9 gr/ml 정도로 밀도가 증가함을 관찰할 수 있다. 본 실험에서 사용한 3가지 ASR 재질중 스폰지는 겉보기 비중이 가장 작은 물질로써, 실제로 ASR 가운데 부피비율로 볼 때 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 이와 같은 스폰지 혼합비율이 증가할수록 RDF 시편의 성형 밀도는 상대적으로 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 이것은 스폰지 혼합비율이 큰 RDF 성형시편은 공극율이 비교적 크다는 사실을 의미하고 있다. 한편, Fig. 4에서 보면 동일 혼합비의 ASR 재질의 경우 성형압력이 증

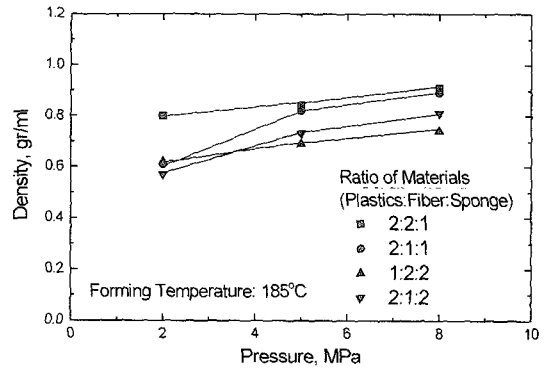


Fig. 4. Variation of RDF density with pressure.

가할수록 전반적으로 성형밀도가 약간씩 증가하는 것으로 나타났는데 이것은 성형압력이 클수록 ASR 재질의

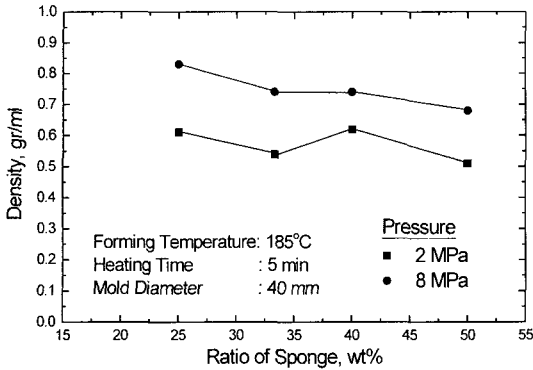


Fig. 5. Variation of RDF density with mixing ratio of sponge.

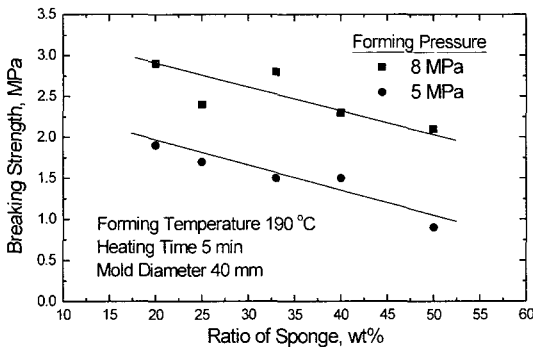


Fig. 6. Effect of forming pressure on breaking strength.

압축도가 증가하기 때문으로 생각된다. 이러한 현상은 Fig. 5에서도 명확하게 나타나고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 스폰지 혼합비율이 증가할수록 또한 성형압력이 낮을수록 성형밀도가 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 가열온도 190°C에서 스폰지 혼합비율을 변화시켰을 때 파괴강도 변화를 조사한 결과로서, 그림에서 보는 것처럼 스폰지 비율이 증가할수록 파괴강도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이것은 스폰지가 많이 함유된 RDF 시편은 그만큼 강도도 낮아진다는 사실을 의미하고 있으며 앞에서 언급한 스폰지 함량과 성형밀도의 관계와도 연관이 있는 것으로 사료되고 있다. 즉, 동일한 성형 조건에서 RDF 시편에 스폰지 함량이 많아지면 시편의 공극을 증대와 함께 성형밀도가 낮아지고 이에 따라 시편의 파괴강도도 낮아지는 것을 확인시켜 주고 있다. 한편, 성형압력의 영향을 살펴보면 Fig. 6에 나타난 바와 같이 동일한 스폰지 함량에 있어서 성형압력을 5 MPa에서 8 MPa로 증가시킬 경우 시편의 강도는 증가하는 것으로 나타났다.

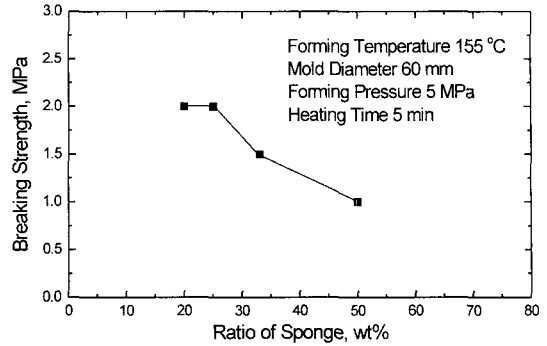


Fig. 7. Variation of breaking strength with ratio of sponge.

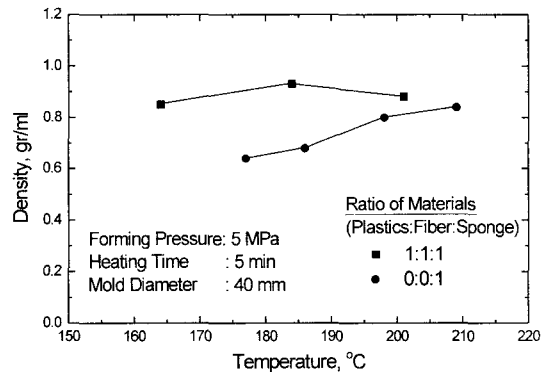


Fig. 8. Variation of RDF density with temperature.

Fig. 7은 60 mm 직경의 mold를 사용하여 RDF 시편을 제조하였을 때 스폰지 혼합비율에 따른 시편의 파괴강도를 조사한 것으로서, 이 경우에도 마찬가지로 스폰지 혼합비율을 증가시키게 되면 시편의 파괴강도는 저하되는 것으로 관찰되었다.

3.3. 가열온도의 영향

Fig. 8은 플라스틱:섬유:스폰지 혼합비율이 1:1:1인 경우와 0:0:1인 경우에 있어서 가열온도에 따른 성형밀도 변화를 보여주고 있다. 여기에서 보면 앞에서와 마찬가지로 동일 온도하에서는 스폰지 함량이 높은 경우 성형밀도는 작게 나타나고 있으며, 혼합비율 1:1:1인 경우에는 가열온도에 따른 성형밀도변화가 뚜렷하게 나타나는 않으나 0:0:1인 경우에는 가열온도가 높을수록 밀도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 ASR 재료의 RDF 성형에 있어서 가열온도를 증가시킬수록 재료의 용융 혹은 수축 등으로 인하여 압축성이 향상된다는 사실을 말해주고 있다 하겠다.

Fig. 9는 60 mm 직경의 mold를 사용하여 가열온도

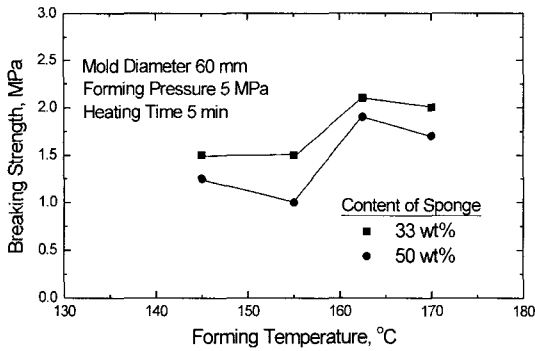


Fig. 9. Variation of breaking strength with forming temperature.

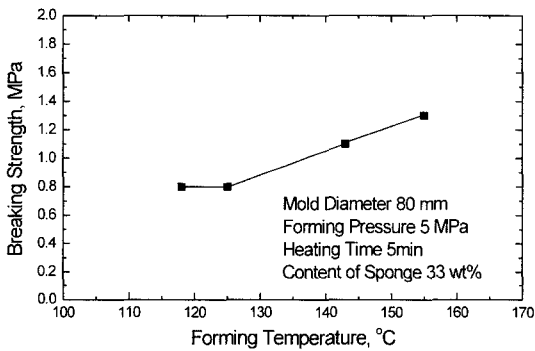


Fig. 10. Variation of breaking strength with forming temperature.

를 변화시켰을 때의 RDF 시편의 파괴강도를 측정 한 결과로서, 그림에서 보는 것처럼 가열온도를 높일수록 전반적으로 시편의 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 앞에서와 마찬가지로 가열온도가 높으면 압축성이 향상되기 때문에 시편의 성형밀도가 증가하고 이에 따라 강도도 증가하는 것으로 사료되고 있다. 또한, 동일 온도하에서는 스폰지 함량이 낮을수록 시편 강도가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 80 mm 직경의 mold를 사용한 Fig. 10의 결과에서도 나타나고 있어 가열온도가 증가할수록 RDF 시편의 파괴강도는 향상되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

폐자동차 shredder line에서 발생한 ASR 재질을 원료로 사용하여 가열성형법으로 RDF 시편을 제조하기 위한 실험결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1)ASR 재질을 사용한 RDF 성형시 가열온도, 가열 시간 및 재질 혼합비가 성형 여부를 결정하는 중요한

변수인 것으로 나타났으며, 가열온도가 낮을수록 또한 스폰지 함량이 높을수록 성형상태는 불량한 것으로 관찰되었다.

(2)mold 직경이 클수록 최대 시편온도가 비교적 낮은 영역에서도 성형이 이루어지는 것으로 나타났는데, 이것은 mold 직경이 크면 그만큼 induction time 이 증가하여 ASR 재질이 가열될 시간을 충분히 주기 때문인 것으로 판단된다

(3)동일한 성형조건하에서 스폰지 혼합비율이 클수록 성형밀도는 작아지는 것으로 나타나 스폰지 혼합비율이 큰 RDF 성형시편은 공극율이 비교적 크다는 사실을 알 수 있었다. 또한, 가열온도가 높고 성형압력이 증가할수록 성형시편의 밀도는 증가하는 것으로 나타났다.

(4)RDF 성형시편의 파괴강도는 전반적으로 성형밀도가 클수록 향상되는 것으로 나타났으며, 이것은 성형밀도가 클수록 공극율이 낮아지고 이에 따라 시편의 강도가 증가하는데 따른 것으로 풀이되고 있다. 또한, 스폰지 함량이 작고 성형압력이 높을수록 RDF 시편의 파괴강도는 증가하였다.

(5)가열온도의 영향에 있어서는 가열온도를 증가시킬수록 ASR 재질의 용융 혹은 수축성이 향상되어 성형 밀도가 증가하며, 이에 따라 RDF 시편의 파괴강도는 상대적으로 높아지는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Jody, B. J., et al., 1990: Recycling of plastics in automobile shredder residue, U.S. DOE Report, DE90-011110, 1-5.
- 오종기, 이화영, 김성규, 2001: 폐자동차 차피파쇄잔류물의 조성에 대한 분석평가연구, 자원리사이클링학회지, 10(4), 34-41.
- 이화영, 오종기, 김성규, 2002: 폐자동차 파쇄를 통한 주요구성물질의 분리 및 분석평가, 자원리사이클링학회지, 11(4), 11-16.
- Hubble, W. S., Most, I. G., and Wolman, M. R., 1987: Investigation of the energy value of automobile shredder residue, U.S. DOE Report, DE87-013645, 7-14.
- 前田邦夫, 1995: 自動車 리사이클링의 現狀과 課題, 合成樹脂, 41, 46-50.
- Numajiri, I., 2000: Current situation and tasks of disposal of end-of-life vehicles, 資源と素材, 116, 879-888.
- 스웨덴 자동차 제조 및 판매협회, 1998: 폐차에 대한 생산자의 의무, 스웨덴 환경보호국 보고서, 스웨덴.
- Borgianni, C., De Filippis, P., Pochetti, F., and Paolucci, M., 2002: Gasification process of wastes containing PVC, Fuel, 81, 1827-1833.

9. Urabe, T. 1997: Combustion characteristics of refuse-derived fuel(RDF), Fuel and Energy Abstracts, **38**, 335.

10. Lin, K. S., et al., 1999: Pyrolysis kinetics of refuse-derived fuel, Fuel Processing Technology, **60**, 103-110.

李 華 永

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
 - 본 학회지 제9권2호, 제10권4호 참조
-

吳 鐘 基

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
 - 본 학회지 제9권2호, 제10권4호 참조
-

金 成 奎

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
 - 본 학회지 제9권2호, 제10권4호 참조
-

《광 고》 본學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I, II, III, IV 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I : 통권 제1호~제10호, II : 통권 제11호~제20호, III : 통권 제21호~제30호, IV : 통권 제31~제40호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서) 440쪽 價格 : 15,000원