

바이오에너지 기술의 현황과 전망

■ 이진석 / 한국에너지기술연구원 바이오에너지연구센터, bmslee@kier.re.kr

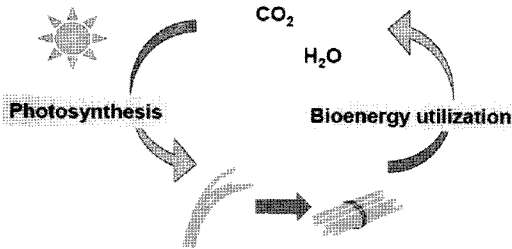
최근 국내외 바이오에너지기술 개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

바이오에너지 기술 개요

바이오에너지는 계속 자라는 식물을 주 원료로 사용하므로 자원 고갈의 문제가 없으며 바이오에너지의 사용에 의해 발생한 이산화탄소는 식물이 자라는 과정에서 다시 흡수되므로 이산화탄소 배출도 매우 작다(그림 1). 또한 유네스코의 분석에

따르면 전 세계의 바이오에너지 생산 잠재량은 전체 에너지 소비량의 30%에 이르는 것으로 나타나 석유의 고갈에 대한 실질적인 대안이 될 수 있음을 보여준다. 이외에도 특정 지역에 자원이 편중되어 있는 석유와 달리 바이오에너지 생산에 사용되는 원료인 음식 쓰레기, 축산 폐수, 하수 슬러지 등의 유기성 폐기물과 간벌재, 폐목재 등 농임산 부산물 그리고 잉여 농산물 등은 대부분 지역에서 활용 가능하므로 화석에너지 자원이 부족한 많은 국가들이 바이오에너지 산업의 육성에 관심이 많다.

국내외에서 개발 중인 바이오에너지에는 난방 등 열에너지 활용 목적으로 우드칩, 목질 펠릿 등의 고형 연료, 폐기물을 분해하여 생산한 바이오가스(메탄) 등의 기체연료 그리고 차량연료로 사용하는 바이오에탄올, 바이오 디젤 등의 액체 연료가 있다(그림 2).

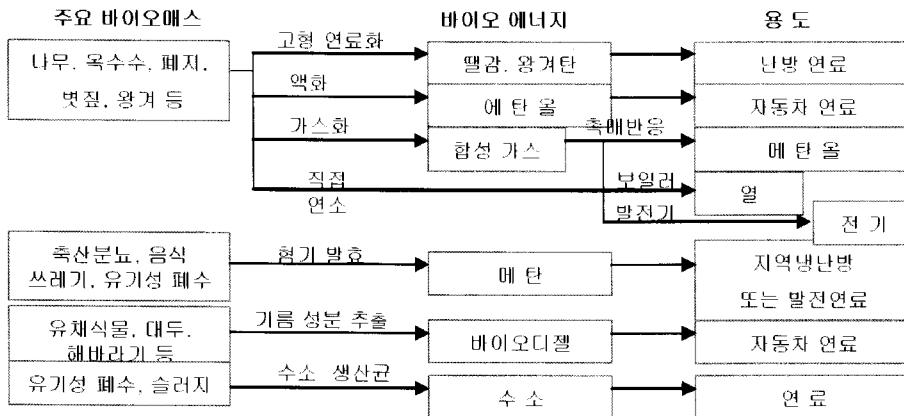


[그림 1] 바이오에너지 사용시 발생 CO₂의 순환 개념도

열 또는 전기 생산 기술

- 고형 연료화 기술

산림 간벌재 등 목질계 원료는 칩(chip) 또는 펠

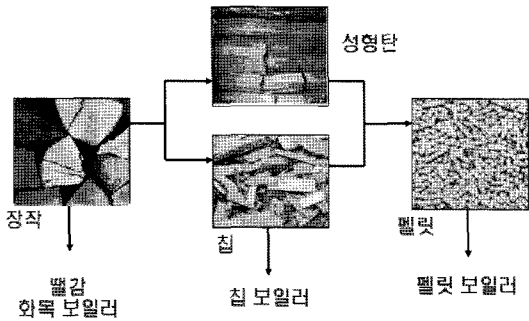


[그림 2] 주요 바이오에너지의 종류 및 용도

렛 등의 고형연료로 가공하여 가정과 지역에서의 난방을 위한 보일러 연료로 주로 활용되고 있다 (그림 3). 이러한 고형연료로 활용은 미활용 임산 폐기물뿐만 아니라 도시에서 배출되는 폐목재 등을 고형연료화 하여 석탄 화력 발전소에서 석탄과 함께 사용하는 혼소(co-firing) 기술도 개발하여 적용하고 있다. 혼소 기술을 적용할 경우 석탄의 사용량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 공해 물질 및 이산화탄소 배출 저감 효과도 기대할 수 있어 일석이조의 효과가 가능하다.

• 목질계 원료의 열분해 및 에너지 이용 기술

폐 바이오매스를 고형 연료로 만들어 연소하여 열을 생산하는 방안은 상대적으로 적용이 용이하지만 생산된 에너지의 형태가 부가가치가 가장 낮은 형태이어서 보다 유용한 형태의 에너지로 활용하려는 시도도 이루어졌다. 이러한 시도의 대표적인 예로는 고형 연료를 공기(산소)가 희박한 조건



[그림 3] 목질계 고형 연료의 활용 사례

에서 열분해, 가스화하여 가스 연료(CO, CH₄, H₂ 등)를 생산하는 기술이다. 생산된 가스는 열과 전기를 동시에 생산하는 열병합 발전에 사용되거나 응축하여 액상 연료로도 사용 가능하다. 열병합 발전 기술의 경우 상용화되었으나 액상 연료로 활용하는 기술은 현재 파일럿 공정 연구를 완료하고 실용화 시작 단계에 있다.

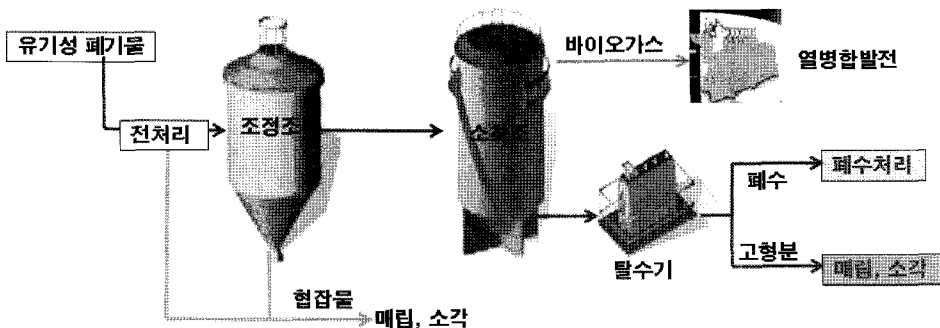
• 유기성 폐기물로부터 바이오가스 생산 및 이용 기술

축산 분뇨, 음식 쓰레기 등 유기성 폐기물은 공기가 없는 혐기 상태에서는 미생물에 의해 분해되어 메탄과 이산화탄소가 포함된 바이오가스로 전환된다(그림 4). 축산 분뇨 등 단일 폐기물을 혐기 소화할 경우 바이오가스가 잘 생성되지 않는 문제가 있어 최근에는 여러 가지 폐기물을 함께 처리하는 통합소화 기술이 개발되었다.

이러한 바이오가스는 에너지로 사용 가능하며 우리나라에서도 1960, 70년대 초에는 취사용 연료로 사용하였으며 현재에는 발전 연료로 사용하고 있으며 스웨덴 등 선진국에서는 바이오가스를 고순도로 정제하여 천연가스 차량의 연료로도 사용하고 있다.

수송용 바이오연료 전환 기술

다른 신재생에너지원이 갖지 못하는 바이오에너지의 고유 장점이 수송 부문에서의 활용성이다. 사탕수수, 옥수수 및 유채, 대두 기름 등을 원료로 각각 만들어진 바이오에탄올과 바이오디젤은 각각 가솔린과 경유 대체연료로 현재 차량에 직접 사용



[그림 4] 유기성 폐기물의 바이오가스화 기술 공정도

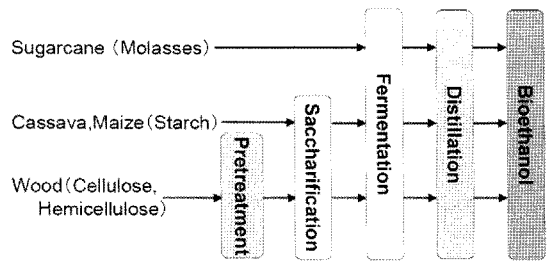


되고 있다.

• 바이오에탄올

바이오에탄올은 탄수화물계 원료로부터 생산 가능하며 원료 성상에 따라 각각 다른 반응 경로를 거친다(그림 5). 즉 사탕수수 또는 사탕무로부터 추출한 당 액은 효모에 의해 직접 에탄올로 전환되며 만들어진 에탄올의 농도는 정제 과정(증류)을 거쳐 무수 에탄올(에탄올 순도 99.3% 이상)로 만들어진 후 차량연료로 사용된다. 옥수수과 같은 전

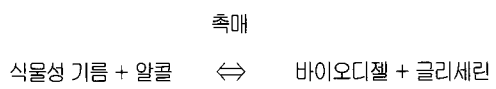
분질계 원료는 먼저 효소에 의해 단당류로 전환된 후 당질계 원료와 동일한 과정을 거쳐 연료용 에탄올로 만들어진다. 이러한 당질계와 전분질계 원료로부터 에탄올 생산 공정은 현재 브라질, 미국, 중국 등에서 상용화되었다. 식용으로 활용할 수 없는 볏짚, 나무 등 섬유소계 원료도 에탄올 생산 원료로 활용 가능하다. 이러한 물질로부터 에탄올을 생산하기 위해서는 원료에 포함된 성분중 에탄올 생산 원료로 활용 가능한 셀룰로스와 헤미셀룰로스의 분리를 위한 전처리 과정이 필요하다. 이후 과정은 전분질계와 동일하다.



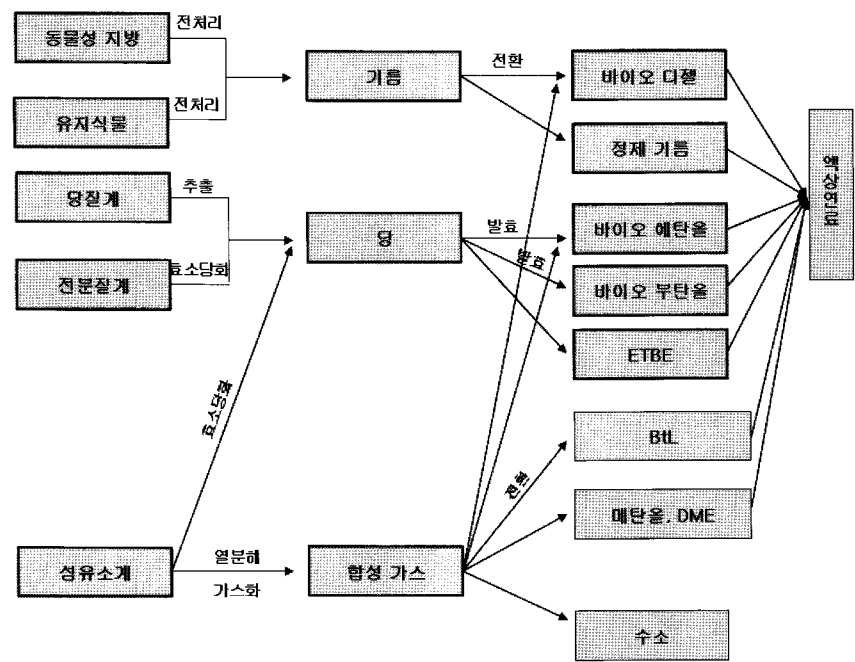
[그림 5] 다양한 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산 과정

• 바이오디젤

바이오디젤은 식물성 기름으로부터 만들어진다. 즉 식물성 기름은 차량 연료로 사용하기에 충분한



[그림 6] 바이오디젤 생산 반응 개략도



[그림 7] 수송용 바이오연료 기술 계통도

열량을 가지고 있지만 고분자 물질이어서 점도가 너무 높아 현대의 디젤 엔진에 직접 적용이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 화학반응에 의해 식물성 기름을 분해하여 저분자화함으로써 점도를 디젤유와 비슷한 점도 수준으로 낮출 수 있다. 즉 그림 6에 나타난 바와 같이 식물성 기름을 촉매를 넣고 알콜과 반응시키면 알킬에스터와 글리세린으로 전환된다. 반응에 의해 생산된 알킬에스터를 바이오디젤이라고 한다. 모든 종류의 알콜이 사용 가능하지만 가장 가격이 저렴한 메탄올을 주로 사용하고 따라서 생산된 알킬에스터를 메틸에스터라고 한다. 촉매도 마찬가지로 산 또는 염기 촉매가 사용 가능하지만 반응 활성이 우수한 염기 촉매를 주로 사용하고 있다.

이외에도 다양한 수송용 바이오연료 전환기술이 개발중이며 이들은 그림 7에 나타났다.

국외 기술개발 동향 및 전망

EU와 미국 등 선진국들은 지구 온난화 대응과 에너지 안보 제고를 위해 자국 특성에 맞는 다양한 바이오에너지생산 기술 개발을 위해 적극 노력하고 있으며 개발중인 기술들은 앞에 기술한 바이오에너지 전환기술들에 모두 포함된다.

즉 환경 보전 측면에서 우선적으로 처리되어야 할 유기성 폐기물의 에너지화 기술이 활발히 연구되고 있다. 특히 매립 부지의 확보에 어려움을 겪고 있는 EU와 일본 등은 음식 쓰레기, 슬러지 등의 도시 폐기물과 축산 분뇨 등의 농축산 폐기물을 혐기소화에 의해 메탄을 생산하여 에너지로 활용함으로써 자원 순환 사회를 실현하고 있다. 특히 일본은 농촌 지자체별로 발생하는 각종 유기성 폐자원을 에너지 및 자원으로 재활용하는 시범 사업인 "Biomass Town" 사업을 적극 추진하여 현재 250여개소의 모델 타운을 구축한바 있다.

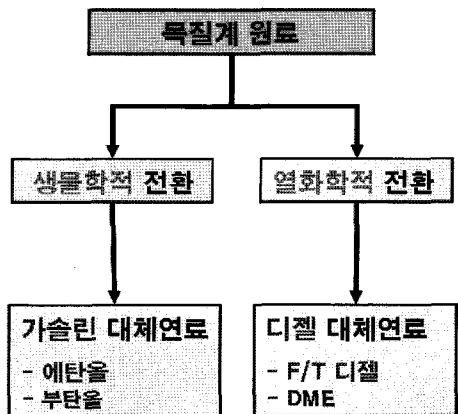
산림 바이오매스 자원이 풍부한 북유럽 국가들을 중심으로 목질계 바이오매스를 우드 펠릿 등의 고형연료로 가공하여 건물 또는 지역 난방연료로 활용하고 있으며 최근에는 열분해 가스화 또는 액화에 의해 보다 유용한 연료 형태인 가스 또는 액상연료로 전환하여 발전연료로 사용하는 기술 개발

도 상용화 되었다.

앞에서 기술한 바와 같이 현재 사용되고 있는 바이오에탄올과 바이오디젤은 모두 곡물로부터 생산되고 있어 원료 부족 및 식량 위기의 주범이라는 비난을 받고 있을 뿐만 아니라 앞으로 늘어나는 수송용 바이오연료의 수요도 충족시킬 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 식용으로 사용이 불가능한 볏짚, 폐목재 등 섬유소계 원료로부터 수송용 바이오연료를 생산하는 것이 필요하지만 현재 기술로 바이오연료 생산시 생산단가가 오히려 높아 경제성이 없다는 문제점이 있다. 현재 섬유소계 원료로부터 수송용 연료를 생산하기 위해 개발 중인 크게 생물학적 전환기술과 열화학적 전환 기술 등 두 가지이다(그림 8).

휘발유 소비가 많은 미국은 휘발유 대체 바이오연료인 에탄올을 섬유소계 원료로부터 생물학적 전환에 의해 생산하는 기술 개발을 활발히 추진하고 있다. 즉 미국은 자국의 가장 풍부한 볏짚, 옥수수 대 등 섬유소계 폐기물로부터 바이오에탄올을 생산하는 기술의 상용화를 위해 현재 에탄올 생산 실증 공정을 운전중이다. 또한 2012년부터 섬유소계 원료로 만들어진 바이오에탄올의 의무 보급량을 설정하여 시장이 창출되도록 하였으며 이를 통해 민간 기업들이 보다 적극적으로 섬유소계 원료 기반 에탄올 기술 개발에 참여하도록 지원하고 있다.

디젤 차량이 주로 보급된 독일 등 EU 국가들에서는 섬유소계 원료를 열분해하여 경유 대체 바이오



[그림 8] 목질계 바이오연료 생산 기술



연료인 F-T 디젤을 생산하는 기술을 개발중이며 현재 연산 20,000 kL 규모의 파일럿 공정을 건설중이며 2012년 연 200,000 kL의 양산 공정을 구축할 예정이다.

이러한 섬유소계 원료를 활용한 바이오연료 생산 기술 개발 외에도 최근에는 식물성 플랑크톤(microalgae)과 우뚝가사리(macroalgae) 등의 해양 바이오매스로부터 수송용 바이오연료를 생산하려는 기술개발도 활발하게 시도되고 있다. 이러한 바이오에너지기술개발은 단기적으로는 에너지 생산이 주목적을 두고 있지만 중장기적으로는 석유의 고갈시 화학산업 제품의 생산이 불가능하다는 점을 고려하여 바이오매스로부터 에너지뿐 아니라 화학제품도 함께 생산하는 바이오리파이너리 기술로 발전할 전망이다(그림 9).

국내 기술개발 동향 및 전망

국내에서도 바이오매스 에너지 기술개발에 대해 많은 연구가 이루어졌다. 일부 기술은 실용화되었으며 다른 기술들은 기초 또는 응용 연구단계에 있다. 대표적인 기술 개발 사례를 소개하면 다음과 같다.

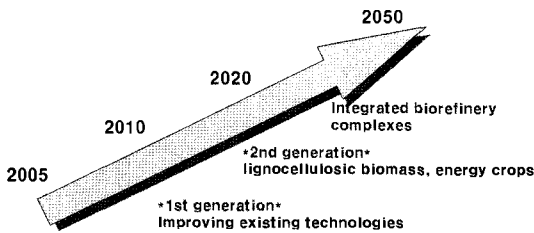
• 유기성 폐기물의 에너지화 기술

산업 폐수 또는 생활 하수로부터 메탄을 생산하는 기술은 이미 하수 처리장 또는 산업체에서 실용

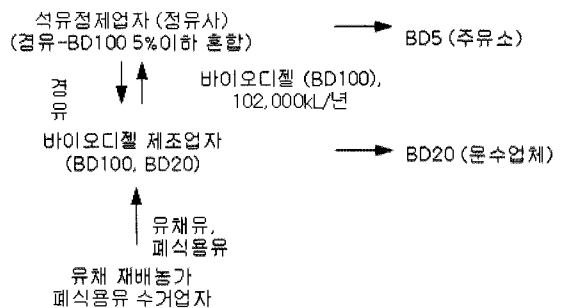
화하여 사용하고 있다. 2000년대 초까지 음식 쓰레기는 사료 또는 퇴비화에 의해 일부 재활용되고 있지만 그 수요처가 제한되었고 매립도 금지됨에 따라 음식 쓰레기의 감량화 기술이 국내 실정에서는 더 중요하게 되었다. 폐기물의 감량화에 가장 보편적으로 적용되는 소각 기술은 국내 음식 쓰레기의 수분 함량이 약 90%로 매우 높아 적용이 어려운 문제점이 있어 메탄으로 전환하는 기술이 개발되었다. 즉 음식 쓰레기를 메탄으로 전환하여 연료로 활용할 경우 에너지 생산뿐만 아니라 유기물의 감량도 90% 가능하다. 국내 기술진에 의해 우리 실정에 맞는 음식 쓰레기로부터 메탄 생산 기술이 개발되었으며 현재 상용화 공장이 설치되어 가동중이다. 동 기술은 앞에 언급한 사료화나 퇴비화에 비해 시설 설치비가 높아 보급이 부진하였지만 2005년부터 음식 쓰레기의 매립이 금지되면서 점차 유망 처리기술로 주목받고 있다.

• 바이오디젤 생산 및 활용

2002년 환경부와 산업자원부에서는 바이오디젤을 경유에 20% 혼합하면(BD20) 경유에 비해 환경오염물질 배출이 30 ~ 40% 줄어들 뿐만 아니라 기존 차량에도 직접 사용 가능하다는 점을 인지하여 바이오디젤을 대체에너지에 포함시켜 경유에 부과되는 특수세가 면제되도록 하였다. 또한 2002



[그림 9] EU의 바이오에너지기술개발 로드맵



[그림 10] 국내 바이오디젤 제조 및 유통 과정

<표 1> 국내 바이오디젤 보급 목표

년도	2007	2008	2009	2010	2011	2012
보급 양, x10 ³ kL	100	200	300	400	500	600

년부터 2006년까지 바이오디젤 20% 혼합 경유(BD20)의 시범 보급 사업을 거쳐 2006년 7월부터 바이오디젤 혼합연료의 전국 보급이 시작되었다(그림 10). 2009년 국내 바이오디젤 보급 양은 30만 kL이며 현재 주유소에서 판매되고 있는 경유에는 1.5%의 바이오디젤이 포함되어 있다. 이러한 바이오디젤 보급량은 2012년까지 년 60만 kL로 증가하여 시중에서 판매되는 경유중 바이오디젤 함량은 3%로 높아질 예정이다(표 1).

현재 바이오디젤 생산에 사용되는 대분의 원료는 수입 식물성 기름이며 이를 대체하기 위해 국내에서 발생하는 폐유지를 원료로 사용하는 기술이 연구되었다. 동 기술의 특징은 폐유지에 포함된 유리 지방산을 효율적으로 전처리하여 바이오디젤로 전환하는 공정을 추가하여 바이오디젤 생산 수율을 높인 데 있다. 이러한 기술이 개발됨에 따라 국내에서 발생하는 폐식용유의 대부분이 현재 바이오디젤 생산 원료로 활용되고 있으며 그 결과 폐식용유의 불법 폐기에 의한 환경오염 문제 해결뿐만 아니라 식물성 기름의 수입 대체에도 기여하고 있다.

• 기타 바이오에너지기술

수송용 바이오연료의 생산이 가파르게 증가함에 따라 원료로 사용중인 곡물 가격 폭등의 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국내에서도 비식용 바이오매스인 볏짚, 폐목재 등을 활용하여 에탄올을 생산하는 기술 개발 연구가 이루어지고 있다. 하지만 이러한 연구는 현재 핵심 원천 기술 개발 단계이며 실용화되는데 상당한 시간이

소요될 것으로 전망된다.

마무리

앞에서 기술한 바와 같이 바이오매스 에너지는 자원 고갈 걱정이 없는 환경친화형 에너지로서 열, 전기 및 차량용 연료 등 다양한 형태로 활용 가능하다는 장점이 있다. 특히 바이오에너지 사용에 의해 발생한 이산화탄소의 순환 특성 때문에 국제 사회에서는 바이오에너지가 교토 협약에 따른 이산화탄소 의무 감축량 달성에 실질적인 대안이 될 것이라는 인식하에 EU 및 미국 등 선진국에서는 바이오에너지 보급 확대를 위해 다양한 지원 정책을 마련하여 시행하고 있다.

국내에서도 향후 신재생에너지 보급을 확대하여 2030년 전체 소비 에너지의 11%를 대체한다는 목표를 발표하였다. 동 계획에 따르면 2030년 바이오에너지 보급은 약 1천만 toe로 현재 보급량보다 20배 증가할 것으로 나타났다. 이러한 바이오에너지 보급 목표 달성을 위해서는 국내 가용 바이오매스 자원의 효율적 에너지 활용을 위한 종합 전략의 수립이 필요한 것으로 판단된다. 다양한 바이오매스 자원중 유기성 폐자원은 환경보전과 에너지 생산이라는 일석이조의 효과가 기대되는 만큼 우선적으로 에너지화 할 필요가 있다. 또한 현재의 국내 부존 자원만으로는 2030년 바이오에너지 보급 목표 달성이 어려울 것으로 예상되므로 지금까지 검토하지 않았던 새로운 원료의 발굴 및 발굴된 원료를 효율적으로 바이오에너지로 전환하는 기술 개발도 시급히 추진해야 할 과제로 판단된다. ㉓