



[2016-10-BM-007]

바이오매스 자원의 지리 및 기술적 잠재량 산정

이준표¹⁾ · 박순철^{1)*}

Estimation of Geographical & Technical Potential for Biomass Resources

Joonpyo Lee¹⁾ · Soonchul Park^{1)*}

Received 15 June 2016 Revised 13 July 2016 Accepted 13 July 2016

ABSTRACT Biomass has been used for energy sources from prehistoric times. Solid biofuels, such as bio-chips or bio-pellet are used for heating or electricity generation. Liquid biofuels, such as biodiesel and bioethanol from sugars or lignocellulosics, are well known renewable transportation fuels. Biogas produced from organic waste is also used for heating, generation, and vehicles. The geographical potential of biomass resources is defined as biomass resources available on account of geographical condition of a certain region. On the other hand, the technical potential of biomass resources can be defined as the amount of biomass resources usable for energy sources using the latest biomass conversion technologies. The geographical and technical potentials of biomass resources are calculated from previously estimated theoretical potentials of biomass resources using energy yield equations. The geographical potential of total biomass in Korea is estimated to be 19.121 MTOE/yr; 12.573 MTOE/yr of forest biomass, 4.019 MTOE/yr of agricultural biomass, 1.455 MTOE/yr of livestock biomass, and 1.074 MTOE/yr of municipal solid waste biomass are available geographically. The technical potential of total biomass is estimated to be 15.639 MTOE/yr; 9.64 MTOE/yr of forest biomass, 4.019 MTOE/yr of agricultural biomass, 1.124 MTOE/yr of livestock manure biomass and 0.856 MTOE/yr of municipal solid waste biomass are available for technical conversion to produce energy sources.

Key words Biomass resources(바이오매스 자원), Forest biomass(임산 바이오매스), Agricultural biomass(농산 바이오매스), Livestock manure biomass(축산 바이오매스), Municipal organic solid waste biomass(도시폐기 바이오매스)

1. 서론

바이오에너지는 인류가 불을 발견하면서부터 사용한 아주 오래된 에너지이며, 바이오매스를 사용하여 얻는 에너지는 모두 바이오에너지에 해당한다. 바이오매스를 기계적 혹은 물리화학적, 생물학적 방법에 의해 에너지로 변환하기도 하며, 직접 연소하여 이용하기도 하는데, 최근에는 직접 연소이용 보다는 취급이 간편한 형태로 변환하여 이용하는 것이 보편적이다. 고체에너지는 주로 나무를 칩이나

펠릿 형태로 가공하여 열과 전기에너지로 사용하고, 액체 에너지는 지질을 바이오디젤로 전환하거나 전분계나 당질계 바이오매스를 바이오에탄올로 전환하여 수송용 연료로 사용하며, 기체에너지는 주로 고수분 바이오매스를 혐기소화에 의해 바이오가스로 전환한 다음 열, 전기 혹은 수송용 연료로 사용한다.

국내 바이오매스 자원에 대한 조사는 홍 등이 1989년 처음으로 진행하였으며,^[1] 그 이후 2004년부터 한국에너지기술연구원에서 신재생에너지 자원조사 연구가 진행되었다.^[2] 2009년부터는 신재생에너지 자원지도 연구의 일환으로 바이오매스의 이론적 잠재량에 대한 지도화 작업이 이루어졌다.^[3] 2013년부터는 자원 잠재량을 이론적 잠재량

1) Korea Institute of Energy Research E-mail: bmscpark@kier.re.kr
Tel: +82-64-800-2230 Fax: +82-64-805-2204

과 지리적 잠재량, 기술적 잠재량 그리고 시장 잠재량으로 세분화하여 산출하는 연구를 진행하고 있다.^[4] 이론적 잠재량은 이론적으로 에너지를 생산할 수 있는 잠재량을 말하며, 지리적 잠재량은 자원을 확보하고 에너지 활용을 위한 설비가 입지할 수 있는 지리적 여건을 고려한 것이고, 기술적 잠재량은 에너지 효율과 가동률, 손실요인 등을 고려해 현재의 기술수준으로 활용할 수 있는 량을 말하며, 시장 잠재량은 경제성을 고려하여 시장에 공급할 수 있는 자원 잠재량을 말한다.

본 논문에서는 선행연구를 통해 산출한 이론적 잠재량을 토대로 지리적 잠재량과 기술적 잠재량에 대해 산출식을 개발하고, 자원 잠재량을 산출하였다.

바이오매스 자원 잠재량의 산정방향은 이론적 잠재량을 산정할 때와 마찬가지로 기술적으로 바이오에너지로의 전환이 가능하여야 하며, 가장 단순하게 에너지로 전환이 가능한 기술을 적용하여 산출하였다. 수분함량이 비교적 적은 바이오매스는 직접연소에 의한 에너지량으로 환산하였으며, 수분함량이 비교적 높은 축산 바이오매스 중 돈분뇨와 도시폐기 바이오매스는 생물학적 바이오가스화 기술을 적용하여 자원 잠재량을 산출하였다. 또한 자원 잠재량 산출에 사용된 데이터는 정부, 국가기관, 공공기관 자료를 우선적으로 적용하였다.

2. 선행연구결과

국내 바이오매스 자원의 이론적 잠재량에 대해서는 선행 연구를 통하여 다음과 같이 산정한 바 있다.^[5]

2.1 임산 바이오매스

임산 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 1과 같이 침엽

Table 1. Estimated theoretical potential of Forest biomass resources

| 구 분 | 이론적 잠재량(TOE) | 비율(%) |
|------|--------------|-------|
| 침엽수림 | 135,085,439 | 33.7 |
| 활엽수림 | 137,089,674 | 34.2 |
| 혼효림 | 128,271,040 | 32.0 |
| 합 계 | 400,847,000 | 100.0 |

수림과 활엽수림 그리고 혼효림이 고루 분포하는 것으로 나타났다으며, 총 자원 잠재량은 400,847천TOE로 산정되었다.

2.2 농산 바이오매스

농산 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 2와 같이 벼짚이 2,244천TOE/년으로 가장 많으며, 그 다음은 왕겨가 405천TOE/년으로 쌀을 생산하는 과정에서 발생하는 부산물 바이오매스가 전체 농산 바이오매스에서 차지하는 비중은 65.9%로 3분의 2를 보이는 것으로 나타났다. 과수 전정지는 618천TOE/년으로 15.4%를 나타냈으며, 그 외에는 고춧대와 고구마줄기를 제외하면 나머지는 미미한 자원 잠재량으로 산정되었다.

2.3 축산 바이오매스

축산 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 3과 같이 한/육우 분뇨가 가장 많은 671천TOE/년을 보이며, 그 다음으로 돼지 분뇨가 385천TOE/년으로 나타났으며, 축산 바이오매스 총 자원 잠재량은 1,455천TOE/년으로 산정되었다.

Table 2. Estimated theoretical potential of Annual agricultural biomass resources

| 구 분 | 이론적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|--------|----------------|-------|
| 벼짚 | 2,244,395 | 55.8 |
| 왕겨 | 405,235 | 10.1 |
| 보리짚 | 19,622 | 0.5 |
| 쌀보리짚 | 12,004 | 0.3 |
| 감자줄기 | 43,656 | 1.1 |
| 고구마줄기 | 113,145 | 2.8 |
| 옥수수줄기 | 40,046 | 1.0 |
| 콩줄기 | 56,835 | 1.4 |
| 콩각지 | 23,061 | 0.6 |
| 고춧대 | 303,029 | 7.5 |
| 참깨대 | 28,750 | 0.7 |
| 들깨대 | 111,426 | 2.8 |
| 사과전정지 | 276,189 | 6.9 |
| 감전정지 | 48,692 | 1.2 |
| 배전정지 | 85,573 | 2.1 |
| 포도전정지 | 174,337 | 4.3 |
| 복숭아전정지 | 32,776 | 0.8 |
| 합 계 | 4,018,771 | 100 |

Table 3. Estimated theoretical potential of Annual livestock manure biomass resources

| 구 분 | 이론적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|------|----------------|-------|
| 한/육우 | 671,309 | 46.1 |
| 젓소 | 108,666 | 7.5 |
| 닭 | 290,482 | 20.0 |
| 돼지 | 384,734 | 26.4 |
| 합 계 | 1,455,191 | 100 |

Table 4. Estimated theoretical potential of Annual organic waste biomass resources

| 구 분 | 이론적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|---------|----------------|-------|
| 음식물류폐기물 | 415,601 | 38.7 |
| 하수농축슬러지 | 658,670 | 61.3 |
| 합 계 | 1,074,271 | 100 |

2.4 도시폐기 바이오매스

도시폐기 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 4에 나타난 바와 같이 음식물류 폐기물이 416천TOE/년이며, 하수농축슬러지가 659천/TOE/년으로 나타났으며, 총 자원 잠재량은 1,074천TOE/년으로 산정되었다.

3. 지리적 잠재량

3.1 임산 바이오매스

임산 바이오매스는 우리나라의 전 국토에 걸쳐 분포하고 있으며, 한꺼번에 모두 사용한다면 국토는 황폐화될 것이다. 따라서 지리적 잠재량은 연간 축적되는 바이오매스에 한정하여 이용이 가능하게 된다. 또한 자연 산림의 보존이 필요하기 때문에 시업지에 한정하여 잠재량을 산출하여야 한다. 따라서, 임산 바이오매스의 지리적 잠재량 산정 방법은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{ge} = L_a \times W_a \times W_d \times W_f \times Y_g \times H_v \quad (1)$$

여기서, F_{ge} : 임산 바이오매스 지리적 잠재량(TOE/년)

L_a : 시업지 면적(ha)^[6]

W_a : 임목축적량(m³)^[6]

W_d : 목재밀도(톤/m³)^[7]

Table 5. Estimated geographical potential of Annual forest biomass resources

| 구 분 | 지리적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|------|----------------|-------|
| 침엽수림 | 4,348,764 | 34.6 |
| 활엽수림 | 4,239,514 | 33.7 |
| 혼효림 | 3,984,545 | 31.7 |
| 합 계 | 12,572,823 | 100.0 |

Y_g : 연간 성장율(%)^[8]

W_f : 바이오매스 확장계수^[7]

H_v : 발열량(TOE/m³)^[9~10]

임산 바이오매스의 지리적 잠재량은 Table 5와 같이 침엽수림과 활엽수림 그리고 혼효림이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 총 자원 잠재량은 12,573천TOE로 산정되었다.

3.2 농산 바이오매스

농산 바이오매스의 지리적 잠재량은 이론적 잠재량과 같이 나타내는데, 이는 농산 바이오매스는 농산물을 생산하는 과정에서 발생하므로 수집 및 수거가 가능한 위치에서 발생하기 때문이다.

3.3 축산 바이오매스

축산 바이오매스의 지리적 잠재량은 농산 바이오매스와 마찬가지로 이론적 잠재량과 같이 나타내는데, 이 또한 축산 과정에서 발생하므로 수집 및 수거가 가능한 위치에서 발생하기 때문이다.

3.4 도시폐기 바이오매스

도시폐기 바이오매스의 지리적 잠재량은 여타 바이오매스와 마찬가지로 이론적 잠재량과 같이 나타내는데, 이 또한 도시에서 발생하므로 수집 및 수거가 가능한 위치에서 발생하기 때문이다.

4. 기술적 잠재량

4.1 임산 바이오매스

임산 바이오매스의 기술적 잠재량은 지리적 잠재량에서

뿌리와 잎이 차지하는 비율을 제외하여 산정하는데, 그 이유는 뿌리는 채집이 어려울 뿐만 아니라 개발에 의해 발생 과정에서 건설폐기물로 분류되며, 잎 또한 채집이 어렵기 때문이다. 산정 방법은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{te} = F_{\geq} \times ((W_f - W_{fr} - W_{fl}) / W_f) \quad (2)$$

- 여기서, F_{te} : 임산 바이오매스 기술적 잠재량(TOE/년)
- F_{\geq} : 임산 바이오매스 지리적 잠재량(TOE/년)
- W_f : 바이오매스 확장계수^[7]
- W_{fr} : 뿌리 확장계수^[7]
- W_{fl} : 잎 확장계수^[7]

한편, 기술적 잠재량에서 설비의 효율을 감안하지 않은 것은 임산 바이오매스는 Bio-SRF 혹은 목재 펄릿으로 제품이 만들어지기 때문에 원료가 가지고 있는 발열량의 손실이 없는 상태로 제품이 만들어지기 때문이다. 다만, 우리가 사용하는 최종에너지인 열이나 전기로 전환할 경우에는 설비의 효율을 감안하여야 한다.

임산 바이오매스의 기술적 잠재량은 Table 6과 같이 지리적 자원량의 76.7%에 해당하는 9,640천TOE로 산정되었다.

4.2 농산 바이오매스

농산 바이오매스의 기술적 잠재량 역시 이론/지리적 잠재량과 같이 나타내는데, 이는 임산 바이오매스와 같이 Bio-SRF로 사용한다고 가정하면 에너지 제품으로 만드는데 발열량의 손실이 없기 때문이며, 마찬가지로 최종적으로 열이나 전기에너지로 전환하는 경우에는 설비의 효율을 감안하여야 한다.

Table 6. Estimated technical potential of Annual forest biomass resources

| 구 분 | 기술적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|------|----------------|-------|
| 침엽수림 | 3,325,526 | 34.5 |
| 활엽수림 | 3,264,653 | 33.9 |
| 혼효림 | 3,049,624 | 31.6 |
| 합 계 | 9,639,803 | 100.0 |

4.3 축산 바이오매스

축산 바이오매스의 기술적 잠재량은 한/육우, 젖소, 닭의 경우 이론/지리적 잠재량과 같이 나타내는데, 이는 임산 및 농산 바이오매스와 같이 Bio-SRF로 사용한다고 가정하면 에너지 제품으로 만드는데 발열량의 손실이 없기 때문이며, 마찬가지로 최종적으로 열이나 전기에너지로 전환하는 경우에는 설비의 효율을 감안하여야 한다.

돈 분뇨의 경우 바이오가스화 기술을 적용하므로 산정 방법은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 실 플랜트에서 메탄가스로 전환하는 수율을 적용하였다.

$$L_{te} = L_k \times B_c \times T_s \times M_{gp} \times H_{vm} \quad (3)$$

- 여기서, L_{te} : 돈 분뇨의 기술적 잠재량(TOE/년)
- L_k : 사육두수(마리)^[11]
- B_c : 분뇨발생량 원단위(m^3 /두.일)^[12]
- M_{gp} : 메탄가스 생산수율(Nm^3 /톤)
- H_{vm} : 메탄발열량($kcal/Nm^3$)

돈 분뇨의 바이오가스 전환수율은 실 플랜트의 운전결과로 메탄가스 생산수율은 $14.2Nm^3$ /톤, 발전효율은 35%이다.^[13] 동 바이오가스화 시설은 경남 소재 가축분뇨 바이오가스 발전 시설로 50톤/일 처리하는 시설이다.

축산 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 7과 같이 돈 분뇨가 53,783TOE/년으로 이론 및 지리적 잠재량에 비해 14% 수준으로 낮아지는데, 이는 실 플랜트의 생산수율을 적용한 것으로 수거 과정에서 유기물의 손실이 반영된 결과로 해석된다.

4.4 도시폐기 바이오매스

도시폐기 바이오매스의 기술적 잠재량은 돈 분뇨와 같이

Table 7. Estimated technical potential of Annual livestock manure biomass resources

| 구 분 | 기술적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|------|----------------|-------|
| 한/육우 | 671,309 | 59.7 |
| 젖소 | 108,666 | 9.7 |
| 닭 | 290,482 | 25.8 |
| 돼지 | 53,783 | 4.8 |
| 합 계 | 1,124,240 | 100 |

바이오가스화 기술을 적용하므로 실 플랜트에서 메탄가스로 전환하는 수율을 적용하여 식 (4) 및 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{te1} = F_w \times M_{gf} \times H_{vm} \quad (4)$$

여기서, M_{te1} : 음식물류 폐기물의 기술적 잠재량(TOE/년)
 F_w : 음식물류 폐기물 발생량^[14]
 M_{gf} : 메탄가스 생산수율(Nm³/톤)
 H_{vm} : 메탄발열량(kcal/Nm³)

$$M_{te2} = S_s \times S_{sc} \times M_{gs} \times H_{vm} \quad (5)$$

여기서, M_{te2} : 하수 농축슬러지의 기술적 잠재량(TOE/년)
 S_s : 하수슬러지 발생량(톤/년)^[15]
 S_{sc} : 하수 농축슬러지 전환계수
 M_{gs} : 메탄가스 생산수율(Nm³/톤)
 H_{vm} : 메탄발열량(kcal/Nm³)

음식물류 폐기물의 바이오가스 플랜트에서 메탄가스 생산 수율은 76.14Nm³/톤을 적용하였으며, 하수 농축슬러지의 전환계수는 10, 메탄가스 생산 수율은 9.54Nm³/톤을 적용하였다.^[16]

도시폐기 바이오매스의 자원 잠재량은 Table 8에 나타낸 바와 같이 음식물류 폐기물이 398천TOE/년이며, 하수 농축슬러지가 289천/TOE/년으로 나타났으며, 총 자원 잠재량은 586천TOE/년으로 이론적 자원량과 비교하면 55% 수준에 해당하는 량이다.

5. 결론

국내 바이오매스 자원의 지리적 여건과 기술을 고려하여

Table 8. Estimated technical potential of Annual organic waste biomass resources

| 구 분 | 기술적 잠재량(TOE/년) | 비율(%) |
|---------|----------------|-------|
| 음식물류폐기물 | 297,740 | 50.8 |
| 하수농축슬러지 | 288,707 | 49.2 |
| 합 계 | 586,447 | 100 |

잠재량을 산정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

임산 바이오매스의 지리적 잠재량은 침엽수림과 활엽수림 그리고 혼효림이 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 총 자원 잠재량은 12,573천TOE로 산정되었으며, 기술적 잠재량은 지리적 자원량의 76.7%에 해당하는 9,640천TOE로 산정되었다.

농산 바이오매스의 지리 및 기술적 잠재량은 에너지 제품으로 만드는데 발열량의 손실이 없기 때문에 이론적 잠재량과 같은 값으로 산정된다.

축산 바이오매스의 지리적 잠재량은 축산과정에서 발생하므로 수집 및 수거가 가능한 위치에서 발생하기 때문에 이론적 잠재량과 같으며, 기술적 잠재량에서 우분, 계분은 에너지 제품으로 만드는데 발열량의 손실이 없기 때문에 이론적 잠재량과 같은 값으로 산출되지만, 돈분의 경우 바이오가스화 기술을 적용하여 산출할 수 있으며, 그에 따라 축산 바이오매스의 기술적 잠재량은 1,124TOE/년으로 산정되었다.

도시폐기 바이오매스의 지리적 잠재량은 이론적 잠재량과 같이 나타낼 수 있으며, 기술적 잠재량은 이론적 잠재량의 55%에 해당하는 586천TOE/년으로 산정되었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (20143010071570)

References

- [1] Hong J. J., Moon K. W., Cho J. K., and Lee J. P., 1989, "Biomass Resources Survey and Energy Evaluation", KE-89-17, Korea Institute of Energy Research.
- [2] Kang Y. H., Cho D. K., Lee C. H., Kim H. K., Park W. S., Lee J. P., Park S. C., Youn C. Y., and Kim E. I., 2006, "An Analysis of New and Renewable Energy Resources and the Establishment of the Integrated Management System", 2004-N-NC02-P-01, Korea Institute of Energy Research, Ministry of Trade, Industry and

- Energy.
- [3] Kang Y. H., Cho D. K., Lee C. H., Kim H. K., Park W. S., Lee J. P., Park S. C., and Youn C. Y., 2010, “The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System”, KIER-B02421, Korea Institute of Energy Research.
- [4] Kang Y. H., Cho D. K., Lee C. H., Kim H. K., Park W. S., Lee J. P., No N. S., Kim S. Y., Chung M. S., Hwang H. J., and Youn C. Y., 2014, “New and Renewable Energy Resource Map 3.0 Standardization and Forecasting Technology Development”, KIER-B42425, Korea Institute of Energy Research.
- [5] Lee Joon-pyo & Park Soon-chul, 2016, “Estimation of Biomass Resources Potential”, J. of the Korean Solar Energy Society, 36(1), 19-26.
- [6] “2011 Forestry Basic Statistics”, 2011, Korea Forest Service.
- [7] “National Inherent Coefficient of Land Use, Land Use Change, Forestry”, 2014, National Institute of Forest Science, Internal Circular Brochure.
- [8] “Table of Annual Volumetric Growth Rate”, 2012, Korea Forest Service Notification No. 2012-85 of the Korea Forest Service.
- [9] Article 5 of Enforcement Regulation of the Energy Act.
- [10] Son Y. M., Lee K. H., Kim J. C., and Kim R. H., 2007, “Forest Biomass Assessment in Korea”, 07-22, National Institute of Forest Science.
- [11] “Crop Production Survey”, 2015, Statistics Korea.
- [12] “Technical Manual for Total Maximum Daily Load Management of Water Contamination”, 2014, NIER-GP2014-057, National Institute of Environmental Research.
- [13] Park S. H., 2014, “Yangsan Biogas Plant”, 2014, Co-project enable livestock manure recycling workshop, 2014. 6. 16-20. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, National Agricultural Cooperative Federation
- [14] “National Waste Management Statistics of Korea”, 2014, Ministry of Environment, Korea Environment Corporation.
- [15] “2013 National Sewer Statistics”, 2014, Ministry of Environment.
- [16] Cho J. H., Lee C. H., Lee H. S., and Kim K. K., 2014, “A Study on Appropriate Distribution for Utilization of Waste Resources and Bioenergy(I) - Focusing on Biogas, Korea Environment Institute.