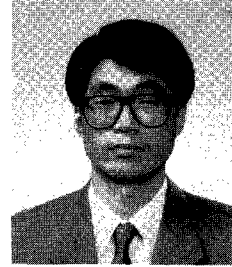


육계분의 적정 퇴비화 공정 조건(Ⅲ)



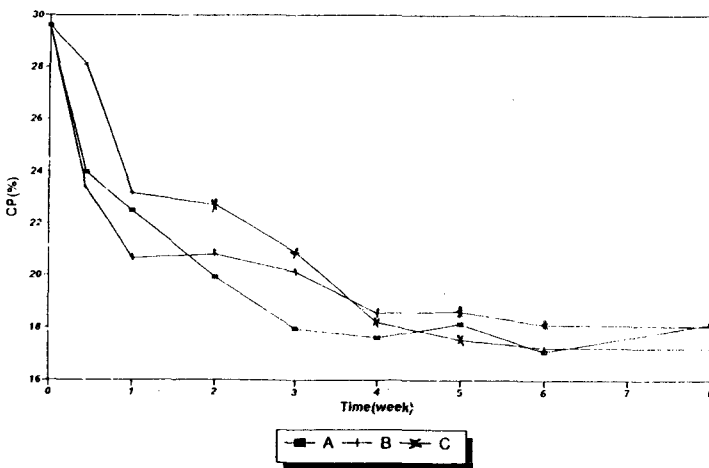
곽완섭

건국대 자연과학대 축산학과 교수

8) 단백질 성상 변화

처리별 내부온도 조절에 따른, 조단백질 함량의 변화(그림 9)는 큰 차이를 보이지 않았으나, 공정 초기의 내부 peak 온도가 60℃ 이하로 유지된 처리구 C에서의 급속한 조단백질 손실율은 빈번한 교반으로 인한 비단백태질소, 특히 NH₃-N 증발에 기인한 것으로 판단된다. 퇴비의 조단백질 함량은 공정 개시시 29.6%였

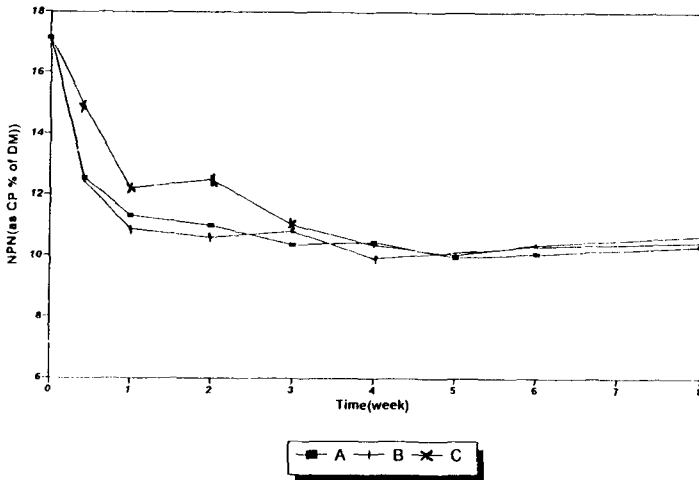
으나 공정 초기 1주일간에 걸쳐 급속히 감소하였고(20.6 ~ 23.2% 조단백질 까지), 이 후 지속적인 감소와 함께 8주 경과시 퇴비의 조단백질 함량은 17.2 ~ 18.1%로 이 때의 손실율은 최초 조단백질 함량의 약 40% 정도였다(그림 9). 다른 보고(Overcash, 1983)에서도 퇴비화 공정에 따른 축산폐기물의 질소 손실율은 0 ~ 70%의 넓은 범위를 나타내었다.



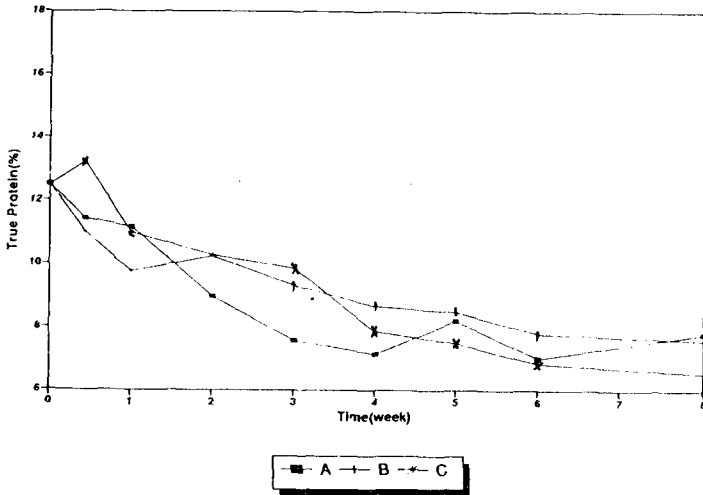
〈그림 9〉 처리별 콤포스터의 조단백질 성분(건물기준) 변화

퇴비의 비단백태질소화합물 함량의 변화 또한 조단백질 함량 변화와 비슷한 2차 곡선을 보여주었다(그림 10). 공정 개시후 1주일 동안의 조단백질 손실량 중 비단백태질소의 손실량이 전체의 76.1%를 차지하였다. 이것은 공정 초기의 조단백질 손실은 단백질소 보다는 비단백태질소의 손실이 주 요인임을 증명한다(그림 10, 11).

비단백태질소의 일종인 요질소는은 공정 5일 이내에 모두 NH₄⁺-N으로 전환되어 버린다(Bangar 등, 1988).



〈그림 10〉 처리별 콤포스터의 비단백질소화합물(NPN) 성분(건물당 조단백질%로 환산) 변화



〈그림 11〉 처리별 콤포스터의 순수단백질(true protein) 성분(건물 기준) 변화

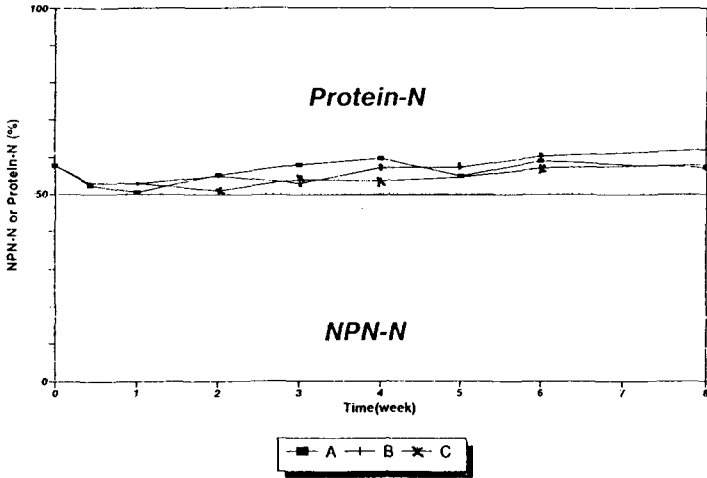
공정 초기의 뒤집기 작업시에 퇴비의 암모니아 취가 심했던 것으로 보아 비단백태질소의 손실은 주로 암모니아의 형태로 발생하는 것으로 사료된다. 공정이 경과함에 따라 최초 1주일 동안 퇴비의 비단백태질소 함량은 급속히 감소되다가 이 후부터 8주 경과시까지의 변화의 폭이 매우 적었다. 순수단백질의 함량은 공정 개시후부터 4 ~ 6주 경과시까지 지속적인 감소

양상을 보였으며(그림 11), 유사한 실험(Martin과 Loehr, 1983)에서 호기성발효 처리된 난계분의 아미노산 함량은 공정과 더불어 현저한 감소를 보였다. 본 연구에서는 8주간의 퇴비화 공정을 통하여 조단백질 함량이 11.5 ~ 12.4%(평균 11.8%)로 감소하였으며, 이 중에서 비단백태질소로서의 손실이 6.5 ~ 6.8%(평균 6.7%) 정도로 전체 손실의 약 56%, 단백태질소로서의 손실이 4.7 ~ 5.9%(평균 5.2%) 정도로 전체 손실의 약 44% 정도를 차지하였다. 암모니아 질소 증발로 인한 질소 손실율은 높은 pH와 고온에 의해서 더욱 촉진되는 것으로 알려져 있다(Diaz 등, 1993).

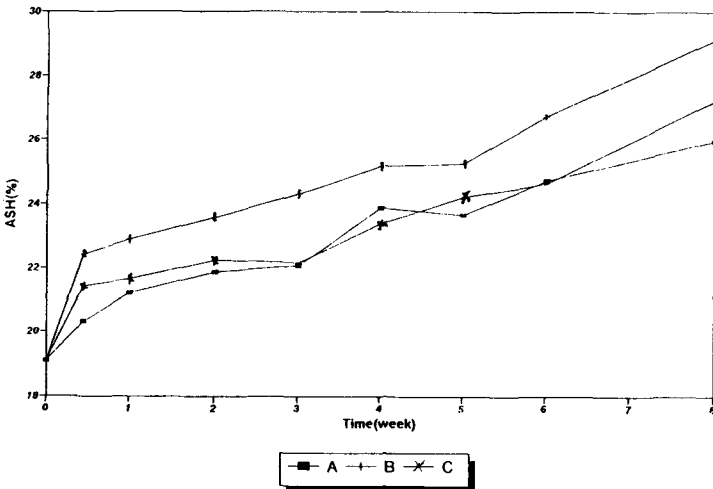
퇴비화의 전체 과정을 통하여 퇴비의 조단백질 성분중 비단백태질소:단백태질소의 성분 비율의 변화는 매우 낮았으며(그림 12), 8주 경과시의 퇴비의 비단백태질소:단백태질소 비율은 57:43 ~ 62:38의 범위에 있었으며 평균 비율은 59:41 이었고 이 수치는 공정 개시시의 비율(58:42)과 비교해 별 차이가 없었다.

9) 광물질 성분 변화 및 중금속 함량

퇴비의 광물질 성분은 공정 개시시 19.1% 였는데, 퇴비화 더불어 지속적으로 증가하다가 공정 8주 경과시에는 26 ~ 29% 정도의 수준을 보여주었다(그림 13). 광물질 성분은 주당 평균 약 1% 정도로 증가한 셈인데 광물질 성분의 증가는 공정중 미생물 발효로 인한 유기



〈그림 12〉 처리별 콤포스터의 비단백태질소 : true protein 비율의 변화



〈그림 13〉 처리별 콤포스터의 광물질 성분 변화

물의 상대적 손실 때문이었다. 우분을 7주간 퇴비화했을 때 광물질 함량은 최초 9%에서 13%로 증가하였다(Tarre 등, 1987).

본 실험에서 8주간의 전체 공정을 통하여 처리된 처리 B의 광물질 함량이 상대적으로 높은 이유는 정확히 밝혀지지 않으나 흙의 오염이 주요인일 수 있다. Toth(1973)는 계분 퇴비의 산불용성 광물질(acid-insoluble 광물질)의 함량은 건물의 5.7%였다고 보고하였다.

최종 퇴비의 중금속 함량은 크롬 7.3 ~ 7.4 ppm, 납 1.9 ~ 2.7 ppm, 수은 14.1 ~ 16.0 ppb의 수준을 보였다. 식품에서의 납과 수은의 최대잔류허용량이 각각 30 ppm과 2 ppm 이라고 제시한 NRC(1988) 수치 또는 슬러지 퇴비 중에서의 크롬, 납, 수은의 무영향수준(No Observed Adverse Effect Level)이 각각 3,000 ppm, 300 ppm, 20 ppm이라고 제안한 Chaney(1991)의 수치와 비교해 보면, 본 연구에서 생산된 퇴비의 중금속 분석치는 매우 안전한 수준에 속하였다.

10) 미생물학적 성장 변화

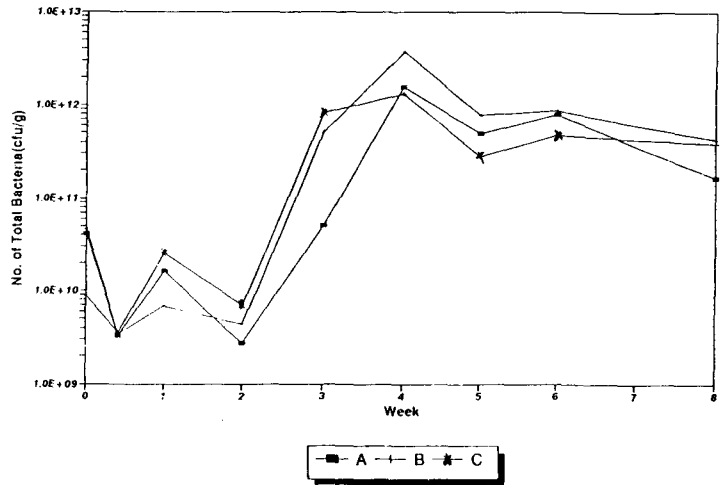
공정의 시간경과에 따른 총 세균수의 변화는 그림 14에 제시되어져 있다. 처리별 내부온도 조절에 의한 총 세균수의 일정한 변화는 관찰되지 않았다. 공정 개시시 109 ~ 1,010cfu 수준이던 총 세균수는 공정 3일째에 일률적으로 감소(평균 3.4×10^9 cfu 수준)하다가 공정 2주 후부터 급속히

증가하여 4주 경과시에 peak(1,012cfu 수준)에 도달하였다. 이후 5 ~ 8주 경과시까지의 변화의 폭이 작았고 일률적으로 1,011cfu 수준에 머물렀다. 본 실험에서의 109 ~ 1,012cfu 범위의 총세균수는 다른 연구자들이(Falcon 등, 1987; Mandelbaum 등, 1988) 발표한 106 ~ 107cfu(계분, 우분 퇴비의 경우) 수준보다 훨씬 높은 수치였다. 호열성 세균은 처리구의 온도가 50 ~ 70°C 범위일 때 최적의 성장

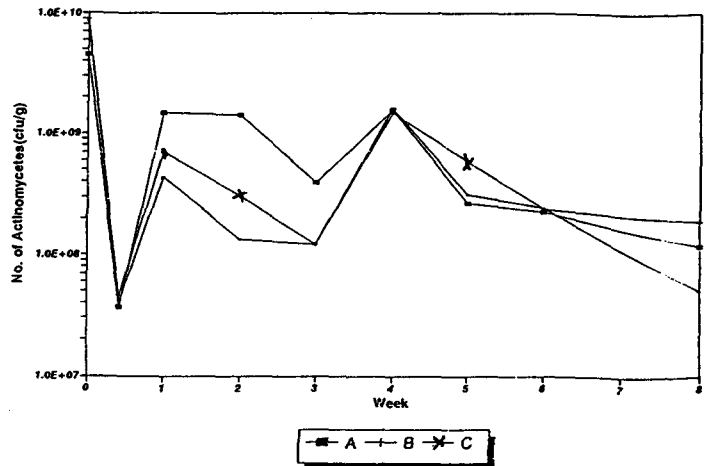
을을 보인다(Taiganides, 1977). 이러한 호열성 세균은 단백질, 지질, 비구조성 탄수화물들을 잘 분해시키나, 구조성 탄수화물은 잘 분해시키지 못한다(Forsyth와 Webley, 1948). Diaz 등(1993)은 내부온도가 65 ~ 71℃ 수준일 때 포아형성세균은 포아를 형성하여 휴식단계에 들어가기 때문에 퇴비의 분해율이 저조해지게 되며, 이때 포아를 형성하지 못하는 세균들은 성장이 억제되거나 사멸하게 된다고 보고하면서 최고온도는 65℃ 정도가 적절하다고 하였다. 본 연구에서 처리구의 내부온도 조절이 총세균수에 영향을 미치지 않았는 것으로 보아, 공정 2주까지의 억제된 세균 증식은 높은 암모니아 생성량과 연관되는 것으로 추정된다.

총 actinomycetes수는 공정 3일 경과시 최저치(107cfu 수준)에 달한 다음, 이후 4주 경과시에 일률적으로 109cfu 수준으로 최고에 달하였고, 이후 서서히 감소하여 8주 경과시까지 대체로 108cfu 수준에 머물렀다(그림 15). Actinomycetes는 72℃의 처리구 온도에서도 잘 자라며, 고온에서 우세한 균에 속하고(Chang과 Hudson, 1967), hemicellulose 뿐만 아니라 cellulose도 분해하는 것으로 알려져 있다(Stutzenberger, 1971). 본 실험에서도 공정 초기의 고온에서 이 균의 활동이 활발한 것으로 나타났다.

총 곰팡이수는 공정 초기에는 관찰되지 않았으나 1주 경과시 평균적으로 최고(104 ~



〈그림 14〉 처리별 콤포스터의 광물질 성분 변화



〈그림 15〉 처리별 콤포스터의 총 방선균수 변화

105cfu 수준)에 달한 다음, 3주 경과시까지 104cfu 수준으로 서식하는 것으로 관찰되다가 4주 후부터는 전혀 관찰되지 않았다(그림 16). 본 실험에서의 104 ~ 105cfu 범위의 곰팡이수는 다른 연구자들이(Falcon 등, 1987; Mandelbaum 등, 1988) 발표한 102 ~ 103cfu(계분, 우분 퇴비의 경우) 수준 보다 훨씬 높은 수치이다. 일반적으로 곰팡이는 cellulose, hemicellulose 분해에 중요한 역할

을 하며, 열에 약하여 60°C 이상에서는 사멸되는 것으로 알려져 있으나 (Merkel, 1981), 본 연구에서는 60 ~ 70°C 수준의 내부온도에서도 곰팡이의 활동이 왕성한 것으로 나타났다.

11) 육계분 퇴비의 종합적 성상 비교

육계분의 비료화 또는 사료화를 위해서는 최종 퇴비의 안정성은 필수적으로 요구된다. 본 실험에서 생산된 육계분 퇴비의 성상과 이상적인 퇴비의 성상들이 표 2에 비교, 제시되어져 있다. 일반적으로 이상적인 성상을 모두 갖추고 있는 단일 퇴비는 찾기 힘들다.

본 실험에서 이용된 육계분의 최소 함수율과 퇴비의 최종 색깔, 냄새 및 최종질소 함량은 이상적인 조건들과 일치하였다. 그러나 이상적이지 못한 성상들을 지적한다면, 최종 함수율, 최초·최종 pH와 탄질을 그리고 최종 광물질 함량 등을 들 수 있었다. 최종 함수율은 26 ~ 27% 정도로 유기질 비료로는 적합하나 사료화를 위해서는 최소 14% 이하(배합사료 기준)를

표 2 본 연구에서 생산된 퇴비와 이상적인 퇴비와의 특성 비교

구 분	본 연구의 퇴비	이상적인 퇴비
최종색깔	갈색	흑갈색-흑색*
최종냄새	약간의 곰팡내	약간의 곰팡내*
함수율, 최초, %	55.4	40~50 ^b
최종, %	26~27	10~20 ^c
pH, 최초	8.5	6.5~7.2 ^d
최종	9.0~9.1	5.5~6.5 ^e
C/N ratio, 최초	9.5	20~25 ^d
최종	14.0~14.3	12~20 ^e
최종 총 질소(N), %	2.8~2.9	2.5~3.5 ^e
최종 광물질, %	26~29	10~20 ^e

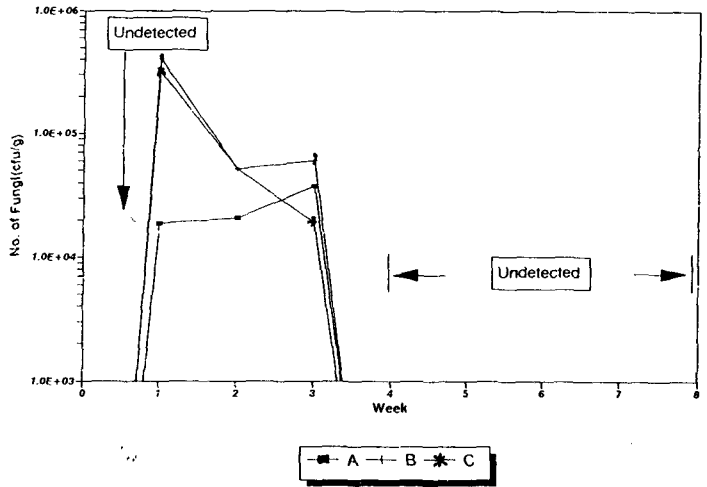
*Toth(1973).

^bTaiganides(1977).

^cSweeten(1988).

^dDiaz 등(1993).

^eMerkel(1981).



〈그림 16〉 처리별 콤포스터의 총 곰팡이수 변화 목표로 한다.

4. 결론

왕겨를 함유하는 육계분을 비료 또는 사료로 재이용할 목적으로 1.0×1.0×1.2m 크기의 구조물내에서 처리구의 내부최고온도를 교반작업을 통하여 조절(처리 A = 무제한, 처리 B = 70°C 이하, 처리 C = 60°C 이하)하면서 8주 동안 퇴비 처리를 하였을 때 공정기간에 걸친 물리적, 영양화학적, 미생물학적 성상 변화를 고찰하였다.

- (1) 육계분은 공정 개시후 5 ~ 6주 경과시 암모니아취가 없고, 왕겨 크기의 입자로 분해된, 연한 갈색의 최종 생산물로 전환되었다.
- (2) 측정이 가능하였던 퇴비 중에서 내부온도는 공정 개시후 3 ~ 4일경에 최고에 도달하였고, 6 ~ 7주 경과시 내부온도는 25 ~ 30°C 정도로 떨어졌고, 이 때 교반 후

재발열 정도(reheating degree)는 처리 A, B, C의 순으로 높았다.

- (3) 공정 개시시 55.4%이었던 함수율은 8주 경과시 26.5%로 반 이상 감소되었으며, 내부온도 조절에 의한 차이는 나타나지 않았다.
- (4) pH는 공정 개시시 8.5이었으나, 이 후 증가하여 6주 경과시부터 pH 변화는 거의 없었고, 8주 경과시 약 9.0 ~ 9.1의 범위에 있었다. 또한 퇴비의 pH 변화는 내부 온도에 의해 영향을 받지 않았다.
- (5) 탄질율은 공정 개시시 9.5이었으나, 이 후 증가하여 4주 후부터는 안정기에 접어들어 8주 경과시에는 14.0 ~ 14.3의 범위를 보였다. 탄질율의 증가는 질소의 손실이 주요인이었다. 육계분 자체의 높은 질소 함량으로 인해 퇴비의 낮은 탄질율은 상당한 질소 손실을 초래하면서 육계분 퇴비화의 가장 중요한 제한적 요인인 것으로 지적되었다.
- (6) 최초 중량과 비교할 때, 공정 후 8주 경과시의 총 중량은 평균 38.8%, 건물 중량은 평균 64.1%, 유기물 중량은 평균 58% 정도였고, 내부온도 조절에 따른 중량의 변화는 미미하였다.
- (7) 공정 개시시 29.6%였던 조단백질 함량은 8주 경과시 평균 17.8%로 낮아졌고, 공정 초기의 심한 질소 손실은 주로 NPN-N의 손실(암모니아 형태)에 기인하였다.
- (8) 공정 개시시 19.1%이었던 퇴비의 광물질 함량은 8주 경과시 26 ~ 29% 수준으로 증가하였고, 이때 중금속의 함량은 크롬 7.3 ~ 7.4 ppm, 납 1.9 ~ 2.7 ppm, 수은

14.1 ~ 16.0 ppb로 식품이나 퇴비내에서의 한계허용치 보다 훨씬 낮은 수준을 보였다.

- (9) 공정 개시시 109~1,010cfu 수준이던 총세균수는 4주 경과시에 최고(1,012cfu 수준)에 도달하였다. 총 actinomycetes(방선균) 수는 4주 경과시에 109cfu 수준이었으나 이 후부터 서서히 감소하였다. 총 곰팡이 수는 처리 1주에서 3주 사이에 104 ~ 105cfu 수준을 보이다가 4주째부터는 감지되지 않았다.
- (10) 전반적으로 육계분의 퇴비화 처리시 처리구의 내부 최고 온도가 70℃ 이내로 조절하였을 때도 60℃ 이내로 조절하였을 때와 비교해서 퇴비의 물리적, 영양화학적, 미생물학적 성상 변화상의 뚜렷한 차이는 없었다.

결론적으로 본 시험에서 분석된 물리적, 영양화학적, 미생물학적 성상들의 변화를 고려해 볼때, 육계분 퇴비는 공정 개시 후 5 ~ 6주 경과시에 안정기에 접어들었으며, 무엇보다도 공정 초기의 상당한 NH₃-N 손실을 사전 예방해주는 중요한 것으로 지적되었다.

암모니아 발생은 비이상적인 pH와 지나치게 낮은 탄질율에 의해 더욱 촉진되기 때문에, 보다 효율적인 육계분 퇴비화를 위해서는 공정 개시전에 암모니아를 포착 결합하는 화학제 또는 pH 하강제의 혼합 (McCasky와 Martin, 1988, Bangar 등, 1988) 및 에너지원(탄소원)의 보충(Cathcart 등, 1986) 등의 방안을 고려할 수 있으며, 이에 대한 심도있는 연구 노력이 필요하다.