

미곡종합처리장

김의웅 | 한국식품연구원 책임연구원, kwoung@kfri.re.kr

미곡종합처리장은 벼를 산물형태로 반입, 가공하여 제품으로 출하하는 공정을 일관된 작업이 가능하도록 기계화 또는 자동화한 시설이다.

RPC 및 DSC 시설의 개요

미곡종합처리장

미곡종합처리장(米穀綜合處理場, Rice Processing Complex, 이하 RPC로 약칭)이란 수확한 합수율이 약 24% 정도로 높은 벼(paddy)를 산물(bulk)상태로 반입·건조·저장·도정 및 포장하여 제품으로 출하하는 공정을 일관작업이 가능하게 기계화 또는 자동화한 시설을 말한다.

RPC는 1988년 한국식품연구원에서 최초로 시험용 시설이 연구 개발되었고, 1991년 2개소(충남합덕, 경북안계 농협)에서 시범사업을 실시한 이후, 정부의 농어촌 구조사업의 일환으로 1992년부터 2001년까지 총 328개소(농협 200개소,

민간 128개소)의 RPC가 보급되었으며, 이 때 보급된 RPC를 제 1세대 RPC라고 칭하고 있다(그림 1 참조).

WTO체제하에서 쌀 시장 개방의 확대는 불가피한 실정으로 우리나라 쌀 산업의 경쟁력 강화를 위하여 정부에서는 2002년 고품질 쌀 생산으로 정책을 전환하였으며, 2004년부터 RPC의 규모화를 촉진하기 위한 RPC간의 통합이 충남연기군을 시작으로 추진되었다. 한편, well-being 시대를 지나 건강과 지속가능성을 추구하는 LOHAS (Lifestyle of Health and Sustainability) 시대로 패러다임이 전환되면서 쌀에서도 안전성을 추구하는 소비자의 요구에 적합하도록 2007년 GAP(Good Agricultural Practices)의 농산물 우수관리시설기준인 RPC에 대해 제정되었다.

또한, 2006년말 현재 1,873개에 달하는 쌀 브랜드를 경영 우수RPC 중심으로 1시·군당 1RPC로 통합한 CRPC(Centralized RPC)를 통해 100개의 파워브랜드를 육성하기 위한 고품질쌀 브랜드육성사업(가공시설현대화사업)이 2007년부터 추진되기 시작하였다. 2019년까지 100개소를 설립할 계획으로 2011년 6월말 현재 39개소가 가공시설을 현대화하였으며, GAP시설기준이 준용된 규모화, 현대화된 RPC를 제2세대 RPC라고 칭하고 있다(그림 2 참조).

건조저장시설

건조저장시설(乾燥貯藏施設, Drying and Storage Center, 이하 DSC로 약칭)은 벼를 반입, 건조 및 저장하는 RPC 전반부 공정으로 구성된 건조 및 저장 전용시설을 말한다.



[그림 1] 전형적인 제 1세대 RPC 전경



[그림 2] 전형적인 제 2세대 RPC 전경



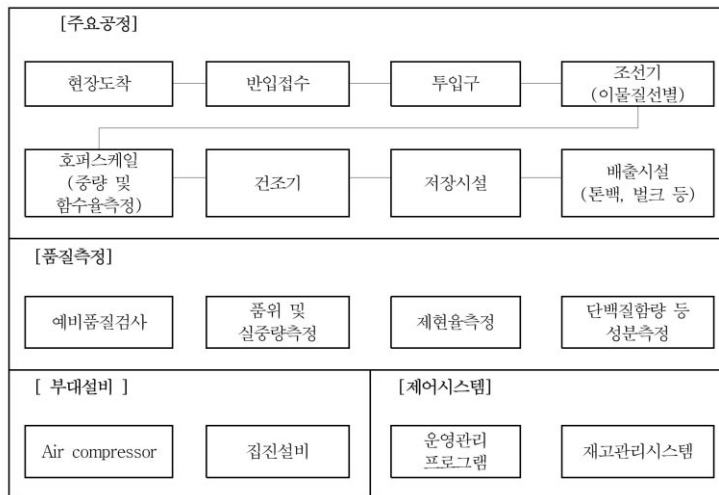
[그림 3] 전형적인 DSC 전경

DSC는 정부에서 벼 산물수매로 정책이 전환된 1995년부터 RPC의 처리능력을 높이기 위해 보급되기 시작하였고, 편의상 증설, 위성 또는 단독 시설로 구분하고 있으며, 시설형태는 설비의 종류에 따라 다소 차이가 있다. 2009년말 현재 약 1,123개소가 보급되었으며, 2019년까지 약 1,000여개소가 추가로 보급될 전망으로 DSC는 RPC와 더불어 우리나라 쌀 산업의 중추적인 역할을 수행하는 중요한 위치를 차지하고 있다(그림 3 참조).

반입, 건조, 저장부의 주요공정 및 관련기술

반입, 건조, 저장부의 주요공정

RPC와 DSC의 반입, 건조 및 저장부는 반입, 건조, 저장 등 5개 주요공정과, 이들을 연결하는 이송시설, air compressor 및 집진설비와 같은 부대설비, 운영관리 및 재고관리로 구성된 제어시스템, 예비품질검사, 품위 및 실중량측정, 제현율측정, 단백질함량 등 성분측정장치로 구성된 품질측정장치 등으로 구성되어 있다(그림 4 참조).



[그림 4] 반입 · 건조 · 저장부의 주요공정

반입공정

벼가 RPC에 반입되면 벼에 포함된 이물질들을 제거하고 중량 및 함수율을 측정하고, 품질검사를 통하여 등급을 결정하는 공정을 반입공정이라 한다. 반입공정은 RPC의 첫 번째 공정으로서 후속 공정인 건조·저장 및 가공공정에도 큰 영향을 주는 매우 중요한 공정으로서 투입구, 조선키, 호퍼스케일 및 품질측정장비 등으로 구성된다.

RPC의 반입시설 1개소당 평균 처리능력은 12.7톤/시간 수준이나 농가당 1회 반입물량이 0.7 ~ 13.9톤이므로 농가 및 품종별 구분작업을 고려했을 때 처리능력은 약 10톤/시간 수준이며, 1일 10시간, 연중 25일 반입기준일 때 반입시설 1개소당 연간 반입능력은 2,500톤이 된다.

농가에서 수확 후 고수분 상태로 장시간 방치하거나, 반입시설이 부족하여 반입처리시간이 지연될 경우 함수율이 높은 벼는 호흡에 의해 곡온과 함수율이 상승하면서 급격한 품질저하가 발생하게 된다. 품질저하의 형태는 아밀로펙틴(amylopectin)의 분해와 지방산가(fatty acidity)의 증가로 인한 식미(食味)저하, 호흡열에 의한 곰팡이 및 세균 등 미생물번식, 곰팡이에 의한 흑변(black burn), 열피해립(heat damaged kernel)의 발생, 및 전분 분해로 인한 건물중량손실(dry matter loss) 등으로 인한 중량 및 품질저하를 들 수 있다.

따라서 반입공정은 벼의 품질유지에 매우 중요한 공정으로 수확 후 4시간 이내에 RPC로 반입이 되어 송풍작업이 실시되어야 하며, 수확 후 6시간 이내에 건조작업이 실시되어야 한다.

품종통일, 대량수확이 가능한 콤바인의 보급 등으로 RPC로 벼가 반입되는 반입기간 즉, 수확기간이 갈수록 짧아지고 있다. 조사결과에 의하면 반입기간은 현재 약 25일수준이나 지역, 재배품종 및 기후여건에 따라 차이가 있다. 수확기간에 RPC로 집중되는 반입혼란을 방지하여 시설의 활용성을 높이고 생산농가의 편의성을 높이기 위해서는 사전에 반입, 건조 및 저장시설의 특성과 능력을 충분히 파악하고, 반입물량 계획에 따라 각

시설의 세부적인 운영 및 반입계획이 수립되어야 한다.

반입시설의 1일 최대 반입량과 건조능력의 계산 결과에 따라 1일 반입물량을 산출하고, 반입되는 벼의 품종, 계약재배여부 및 품질등급 등에 따라 세부적으로 반입일자와 반입시설이 지정된다. 시설능력이 부족할 경우에는 품종수 증가에 따른 반입기간의 확대, 반입예약제 등을 통해 반입능력을 향상시킬 수 있으나, 반입시설의 개수가 근본적으로 부족할 경우에는 수확기에 처리할 총물량과 기존 반입시설의 처리능력의 차이만큼의 반입시설의 증설이 필요하다.

반입일자를 농가의 자일에 맡길 경우 일시에 반입되어 물벼가 장시간 대기하거나 고온 급속건조 등으로 품질저하의 원인이 되는 경우가 발생하게 된다. 집중반입을 완화하고 품종혼입을 방지하기 위해서 수확기 이전에 농가와 협의를 통해 벼의 품종, 계약재배여부 및 품질등급 등에 따라 반입일자와 투입구 등 반입시설을 지정하여 운영하는 “반입예약제”가 필요하다.

벼가 시설에 투입된 이후에는 품위가 매우 나빠더라도 반출이 불가능하므로 반입하는 벼를 반입시설에 투입하기 이전에 품위 및 품질을 검사하여 반입 여부를 결정하는 것은 물론이며, 반입이 결정된 벼도 품위 및 품질에 따라 투입구, 건조 및 저장 방법을 결정하는 “예비품질검사”가 필요하다.

예비품질검사의 방법은 검사자가 농가에서 반입되는 시료를 채취하여 품종과 함수율을 확인하고, 간이 탈부한 다음, 육안으로 현미의 품위검사를 실시하여 투입구와 건조, 저장시설이 명기된 접수증을 발급하며, 투입구에서 투입 이전에 접수증을 확인한 후 예비검사 결과를 토대로 본격적인 반입작업이 실시된다.

반입되는 벼에 혼입된 이물질은 조선키에서 정선되나, 조선키에서 정선되지 않은 이물질은 호퍼스케일에서 중량으로 측정되므로 이물질중량만큼 벼의 실중량(實重量)이 감소하게 된다. 조사결과에 의하면 벼에 혼입되는 이물질량은 평균

0.83 ~ 8.31% 수준이다.

정선지수(精選指數, purity index)는 조선키를 통과한 벼에 혼입되어 있는 이물질의 중량비율을 측정하여 실증량으로 보정하기 위한 지수로써 객관적인 실증량거래체계를 확립하기 위해서는 도입이 필요하다.

$$\text{정선지수} = \frac{W_2}{W_1} \quad (1)$$

W_2 : 이물질 선별전 벼중량(g)

W_1 : 이물질 선별후 벼중량(g)

$$\text{벼의 실증량(kg)} = \text{벼 중량(kg)} \times \text{정선지수(-)} \quad (2)$$

건조 공정

벼를 온도와 상대습도가 일정한 공기 중에 장시간 노출하면 벼가 수분을 흡수하거나 방출하지 않는 일정한 함수율의 평형상태에 도달하게 되는데 이 함수율을 주어진 온도와 상대습도에서 벼의 평형함수율(平衡含水率)이라고 한다. 수분이 높은 벼는 평형조건을 유지하기 위해 벼 표면은 증발에 의해 수분이 제거되고, 내부에서는 표면으로 수분확산(水分擴散)이 일어나게 된다. 이러한 현상이 반복되는 것이 건조과정이라고 할 수 있다. 일반적으로 벼의 표면증발을 위해서는 증발잠열이 필요하며, 벼의 표면에서 증발된 수분은 대류 또는 송풍 공기에 의해 제거된다. 곡물의 건조에서 표면증발에 의한 수분제거보다 내부 수분확산이 크면 건조속도가 일정한 항률건조(恒率乾燥)가 이루어지고, 반대로 건조가 진행됨에 따라 내부의 수분확산보다 표면증발이 크면 건조속도가 떨어지는 감률건조(減率乾燥)가 일어난다.

공기의 상대습도가 벼의 함수율과 평형이 되는 평형 상대습도보다 낮을 경우, 수증기압차에 의해 벼 낱알 표면에서 수분이 공기로 방출되어 건조되며, 낱알 내부에서는 표면으로 확산에 의해 수분이 이동하게 된다. 이 때 확산속도가 건조속도보다 늦으면 곡립의 내부와 외부에 함수율 차

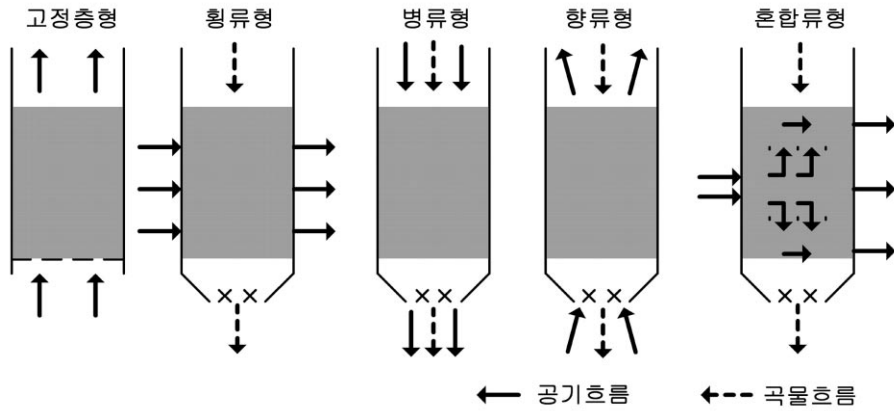
이가 발생하고 응력(應力, stress)이 증가한다. 즉, 건조가 진행되면서 벼 낱알의 표면은 빨리 건조되고 내부로 갈수록 건조가 느리게 되며, 이때 낱알의 표면과 내부 사이는 함수율의 차이가 발생하는데 함수율의 차이가 클수록 응력에 의해 동할(crack)이 발생하게 된다. 함수율의 차이는 건조속도가 빠를수록 크게 나타나며 건조속도는 열풍온도가 좌우한다. 따라서 열풍온도가 높을수록 건조속도가 빠르고 벼 낱알의 표면과 내부 사이의 함수율 차는 커지며 동할 발생도 증가하게 된다.

템퍼링(tempering)은 낱알의 함수율차이를 완화를 위해 일정 시간 동안 건조를 중지하고 벼를 방치하는 조작으로서 템퍼링동안 벼 낱알 내부의 수분이 표면으로 확산되어 건조 중에 발생한 함수율 차이가 줄어들게 되므로 동할 발생이 억제된다.

건조기의 기본형식은 벼와 열풍의 흐름이 동일한 방향인 병류형(並流型, concurrent flow type), 반대방향인 향류형(向流型, counter flow type), 직각방향인 횡류형(橫流型, cross flow type)과 이들이 혼합된 혼합류형(混合流型, mixed flow)과 벼는 정지되어 있고 열풍만 이동하는 고정층형(固定層型, fixed-bed type)이 있다.

RPC에 사용되는 곡물건조기는 열풍건조방식인 순환식건조기와 연속식건조기, 상온통풍건조방식인 평타입사일로, 사각빈 등이 있다. 순환식건조기는 횡류형이고, 연속식건조기는 혼합류형이며, 상온통풍건조시설은 고정층형이며, 최근 일부 RPC에서 사용하기 시작한 원적외선건조기는 순환식건조기의 일종이다(그림 5 참조).

벼는 건조과정에서 시설의 부족, 적절한 건조방법의 미준수, 부적절한 건조시설의 사용 등으로 품질저하가 발생하게 된다. 즉, ㉠ 과다하게 건조되어 중량감소 및 품질이 저하된 경우, ㉡ 목표저장 함수율보다 높게 건조되어 안전저장에 적합하지 않는 경우, ㉢ 건조기에 투입된 벼의 함수율의 차이가 심해 건조된 원료 벼에 함수율 차이가 높



[그림 5] 곡물건조기의 기본형식

은 경우, ㉔ 템퍼링을 실시하지 않거나 부족한 경우, ㉕ 건조속도가 지나치게 낮은 경우 등에서 동할 발생, 발아율 감소, 지방산가 증가 등의 품질 저하가 발생한다. 따라서 건조된 벼의 품질은 함수율, 동할율, 발아율 및 지방산가를 측정하여 판단할 수 있다. 또한 이들 인자는 식미와도 직접적인 관계가 있으므로 원료 벼의 품질관리방법 적정성의 판단지표로 활용하면 품질관리가 용이하다. 특히, 과다한 건조는 중량, 품질 및 에너지 등의 경제적 손실을 유발하는 반면, 건조가 부족하여 높은 함수율로 저장할 경우에도 변질에 의해 더 큰 경제적 손실이 발생할 수 있다.

수확후 벼는 낱알별로 함수율의 분포 폭이 대단히 넓고, 함수율 차이도 5%이상인 경우가 많아

평균 함수율보다도 매우 높은 고함수율의 낱알이 존재할 수 있다. 이것을 그대로 열풍으로 건조하면 쌀의 품질이 저하하는데, 임시저장은 이러한 낱알별 함수율 편차를 감소시켜 건조과정에서 낱알의 과다한 건조를 방지하고 균일건조를 가능하게 한다. 임시저장빈은 고함수율 벼를 저장하므로 풍량비가 0.01 ~ 0.02m³/sec/ton수준의 통풍설비가 반드시 부착되어야 하고, 총 저장용량은 1일 최대 반입량의 1.5배 이상으로 하고, 저장빈의 개수는 최소 3기 이상으로 설치하여야 한다. 임시저장 중에는 반드시 통풍을 실시해야 하며, 임시저장 시간은 8시간이내로 하여야 한다. 또한, 함수율이 높은 벼는 유동성이 나쁘므로 호퍼타입이 이용에 효율적이다.



[그림 6] RPC에서 벼 건조에 사용되는 순환식, 연속식 및 상풍통풍건조시설

고온으로 건조하면 동할이 증가하고, 식미가 저하된다. 특히 함수율이 높은 벼를 고온으로 건조할 경우 동할 발생은 적지만 발아율 저하 및 열손립이 발생하는 경우가 있다. 따라서 건조작업 중에는 열풍온도, 배출시 곡물온도 및 함수율을 철저히 관리하여 품질이 손상되지 않도록 유의해야 한다. 열풍온도는 일반적으로 45℃이하가 권장되고 있으나 건조기 종류, 함수율 및 외기조건에 따라 다르지만, 열풍온도는 곡물의 온도가 35℃ 이상이 되지 않도록 유의할 필요가 있다.

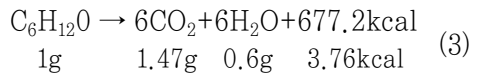
또한, 평타입사일로나 사각빈에서 보조열원을 사용할 때 하층부의 과건을 최소화하기 위해서는 건조공기온도가 외기온도보다 3℃ 이상 높아지지 않도록 하여야 한다.

열풍건조기로 건조한 벼를 충분히 방냉하지 않고 저장하면 높은 곡온을 유지하여 호흡에 의해 품질이 저하되고, 외기온도가 낮을 경우 찬 공기와 접촉되는 부위에 결로가 발생하여 변질원인이 될 수 있다. 따라서 건조기에서 배출된 벼는 반드시 외기온도를 기준으로 최소한 +5℃이내까지 충분히 방냉하여야 한다. 그러나 건조가 완료된

벼를 그대로 사일로 등 저장시설로 이동한 후 냉각 또는 통풍을 할 경우에는 건조기에서 별도의 방냉과정이 필요하지 않다.

저장공정

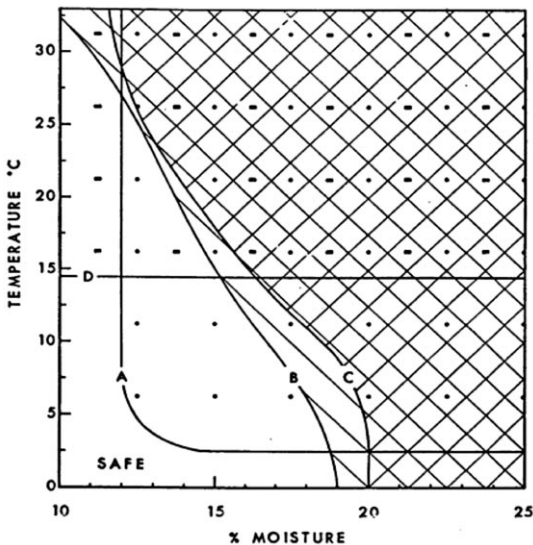
벼는 살아있는 생명체로서 수확 후에도 호흡 등 생명활동을 지속하므로 호흡작용에 의한 산화 및 성분분해가 계속적으로 진행되어 양적, 질적 손실이 발생되며 어느 한계점에 도달하면 상품성을 잃어버린다.



벼가 호흡을 하면 물과 열이 발생하고, 발생된 물과 열은 다시 벼에 흡수되어 함수율 및 온도가 더욱 상승하게 된다. 상승된 함수율과 온도에 의해 호흡량은 급격하게 증가하여 심한 경우 70 ~ 80℃ 정도로 곡온이 상승하여 열손립이 발생하고 곰팡이 번식으로 변질 또는 부패가 발생하게 된다.

벼의 호흡작용에 영향을 미치는 인자로는 함수율, 온도, 산소, 광선, 미생물 및 효소 등이 있으며, 이 중에서 가장 영향을 많이 미치는 인자는 함수율 및 온도이다. 그림 7은 곡물의 안전저장기간을 나타낸 것으로서 그림에서 알 수 있듯이 상온상태로 저장되는 곡물의 함수율은 15%이하로 제한되며 가능한 저장온도를 15℃이내로 유지하여야 한다.

벼의 함수율이 상온에서 비교적 안전저장이 가능한 약 15% 수준으로 건조되었을 경우에도 외기와 저장시설 내부의 온도 차이에 의해 결로가 발생하게 되거나, 상대습도가 지속적으로 높을 경우에도 흡습이 일어나 벼의 표면 함수율이 증가되면 미생물의 생육과 번식에 적합한 환경이 조성될 수 있다. 저장 중 곰팡이는 벼의 함수율이 14.5%이상이고, 저장온도가 22℃이상일 경우 포자가 발생하고 균사가 형성될 수 있으며, 22 ~ 32℃에서는 왕성하게 생육하게 된다. 또한, 해충은 함수율 12%이하에서도 번식할 수 있고, 저장



(: 응애(A), \ \ \ : 발아율(B), // : 곰팡이(C), ■ 해충(D))

[그림 7] 곡물의 안전저장기간(Burges and Burrell, 1964)

온도가 15℃이하에서는 번식을 중지하고, 10℃이하가 되면 생육을 중지하며, 5℃이하에서는 잠복하게 된다.

저장 중 벼는 산화, 효소 등과 같은 화학적 요인과 생리적 요인에 의해 품질저하가 발생되므로 호흡량 및 미생물의 생육을 억제하여 안전한 고품질 쌀을 생산하기 위해서는 적절한 함수율 유지와 10℃이하의 저장온도 준수가 필수적이다.

RPC 저장시설은 산물저장시설인 평타입 및 호퍼타입 사일로, 사각빈, 포대나 톤백을 저장하는 평창고 및 저온저장고, 산물평창고 등이 있다. 저장은 반입, 건조 및 가공과는 달리 장기간이 소요되는 공정으로서 품질저하 등 변질사고가 발생할 가능성이 매우 높은 공정이다. 따라서 저장할 곡물의 품질상태와 함수율 및 곡온 관리방법 등에 이르기까지 전반적으로 치밀한 운영계획을 수립하는 것이 중요하다(그림 8 참조).

벼의 저장중 발생하는 중량감모(重量減耗)는 크

게 저장과정에서 환기작업을 위한 통풍, 입고 및 출고 작업에서 제거되는 이물질에 의한 중량감모, 함수율 감소 및 호흡에 의한 자연감모 등이 있다.

함수율 감모는 입고 전·후 평균 함수율을 측정하여 총 저장중의 감모예측이 가능하며, 이물질 제거에 의한 감모량은 벼의 입·출고 전후의 이물질 혼입율로 예측할 수 있다. 벼의 저장중 호흡에 의한 자연감모량(自然減耗量)은 다음 식과 벼의 호흡속도를 나타내는 표 1을 이용하여 예측할 수 있다. 따라서 RPC에서는 벼의 저장온도, 함수율 및 저장기간에 대한 기록을 유지하고 있을 경우, 저장 중에 발생하는 호흡에 의한 자연감모량을 예측 또는 계산할 수 있다.

$$\text{자연감모량(톤)} = \frac{\text{저장톤수(톤)} \times \text{저장일수(일)} \times R_s}{1,470,000} \quad (4)$$

여기서, R_s : 호흡속도 ($\text{CO}_2 \text{ g/day} \cdot \text{ton}$)



[그림 8] 저장시설의 종류

<표 1> 벼의 함수율 및 곡물온도에 따른 호흡속도

온도(℃)	함수율(%)		호흡속도 R_s (g CO_2 /day · ton)				
	14	15	16	17	18	19	20
5.0	0.4029	0.9523	2.0673	4.1032	7.4342	12.3546	19.1255
10.0	0.8351	1.9273	4.0881	7.9337	14.0660	22.8940	34.7439
15.0	1.8402	4.1931	8.7975	16.9197	29.7900	48.2599	73.0745
20.0	3.7829	8.4715	17.4880	33.1348	57.5525	92.1140	138.0221
25.0	7.5908	16.7162	33.9716	63.4434	108.7593	172.0478	255.1926
30.0	14.8859	32.2535	64.5622	118.9001	201.2567	314.7910	462.3624



벼에 혼입된 이물질, 먼지 등은 곡물의 유동성을 저하시키는 것은 물론이며, 이물질 또는 미세한 입자 더미는 송풍을 방해하여 쉽게 발열하고 부패하기 쉬워 저장 중 벼의 변질에 가장 큰 원인 중 하나가 되고 있다.

건조가 종료된 벼는 조선기 또는 정선기를 통과시켜 벼를 재정선(再精選)한 후에 저장을 실시하여야 하며, 특히, 건조기에서 간접정선(間接精選)이 이루어지지 않는 상온통풍으로 건조된 벼의 경우 열풍 건조한 벼보다 상대적으로 많은 이물질이 혼입될 가능성이 높으므로 재정선(再精選)을 실시하여야 한다.

곡온이 낮을수록 호흡이 적어 발아율의 유지, 지방산가의 증가억제 및 식미의 유지에 효율적이므로 저장시설은 냉각저장이 가능하도록 하는 것이 필요하다. 특히, 사일로, 사각빈 및 산물평창고 등은 공기충만실이 설치되어 있으므로 겨울철 찬 공기와 곡물냉각기를 이용하면 쉽게 연중 냉각저장 할 수 있다.

산물형태로 상온 저장중인 벼가 호흡열의 축적 또는 대류에 의해 부위별로 곡온차이를 나타낼 경우에는 부착된 송풍기를 이용하여 통풍을 실시하여야 한다. 통풍량은 벼의 체적을 기준으로 최소 $0.02 \sim 0.03 \text{ m}^3 / \text{min} \cdot \text{m}^3$ 수준으로 실시하며, 곡온이 외기와 비슷하게 균일해지면 통풍작업을 중단한다.

저장된 벼의 곡온이 불균일하거나 계속 상승될 경우에 저장시설 간의 순환을 실시하여 곡온을 관리할 수 있다. 순환작업에서 저장된 벼가 가능한 외기에 충분히 노출되도록 하는 것이 좋으며 저장시설간의 순환은 통풍작업에 의한 하층부의 과다 건조현상을 방지할 수 있어 많이 활용하고 있다.

상온저장(ordinary temperature storage)은 외기조건에 의존하는 저장으로 건조된 벼를 평창고, 사일로, 산물평창고 및 사각빈 등에서 주로 저장한다.

상온저장에서 가장 중요한 인자는 벼의 함수율이며, 저장기간 동안의 외기조건 및 환기작업의

가능여부가 매우 중요하다. 그러나 이러한 인자를 충족하여도 상온저장방법은 저장 중 품질변화가 크게 발생할 수밖에 없어 안전한 고품질 상태로 벼를 저장하기에는 한계가 있다.

벼를 냉각저장하기 위해 사용되는 방법으로는 동절기의 찬 공기, 곡물냉각기 및 일반 저온저장고 등이 있다. 겨울철의 차가운 공기를 이용하는 방법은 오래전부터 일반적으로 사용하던 방법이며, 곡물냉각기는 국내에서 1998년에 개발되어 보급되었으며, 저온저장고에 저장하는 방법은 그동안 주로 농산물에 사용하여 왔으나 최근 일부에서 벼 저장에 사용하고 있다.

벼는 왕겨로 쌓여있는 반단열재로서 열전도도는 우레탄폼에 비해 약 7.8배 정도에 달하나 산물상태로 저장되는 벼의 특성을 고려할 때 전도(conduction)전열에 의존하는 저온저장고에 보관하는 벼는 냉각에 장시간이 소요되므로 저장초기에 곡온 및 함수율의 조절이 필요하다. 한편, 사일로 하부의 공기충만실(plenum chamber)을 통해 냉각공기가 직접 벼 층을 통과하여 대류(convection)에 의해 냉각되는 곡물냉각기를 이용한 냉각방법은 비교적 1 ~ 3일의 단기간에 의해 냉각되므로 다수의 사일의 벼를 냉각하기 위해 이동식으로 설계되거나 덕트로 연결하는 방법이 이용되고 있다(그림 9 참조).

가공부의 주요공정 및 관련기술

가공부의 주요공정

가공(加工, processing)의 사전적 의미는 “원료나 재료에 손을 더 대어 새로운 물건을 만드는 일”이다. RPC에서 가공은 벼의 껍질과 미강층을 벗겨내는 도정(搗精, milling)과 같은 의미로 미강층을 벗겨내는 정백(또는 정미)공정보다는 넓은 의미이다. 따라서 가공은 벼에서 쌀을 만들고, 쌀에서 불량품을 골라내어 상품화시키는 일련의 과정으로 정의할 수 있다. RPC에서 가공은 반입, 건조, 저장을 제외한 RPC의 모든 공정이 포함된다고 할 수 있으며, 도정과 혼용하여 사용하고 있다.



[그림 9] 이동식 곡물냉각기와 저온저장고를 이용한 벼 저장

그림 10은 가공부는 현미부, 백미부, 포장부 등의 17개 주요공정과 이들을 연결하는 이송시설, 가공공정에 필요한 부산물 및 부자재, 설비 및 제어시스템으로 구성되어 있다. 안전성을 위하여 원료 반입부, 현미부, 백미부, 포장부, 완제품보관실 및 부자재보관실 등이 칸막이를 통해 분리되어 있으며, 포장부, 백미부, 완제품보관실, 현미부, 원료 반입부 순서로 청결유지 정도에 차이가 있어 통상 포장부 출입구에서 에어샤워기 등 위생시설이 설치되어 있다.

정미시스템의 구성 및 정미기술

현미의 단면은 표면부터 과피, 종피, 호분층 및 배유로 이루어 졌고, 과피, 종피, 외배유 및 호분층을 충칭하여 미강층(米糠層) 또는 강층이라고 한다(그림 11). 정백(精白, rice whitening) 또는 정미(精米)란 현미의 미강층을 제거하여 백미를 만드는 것을 의미하며 이에 사용되는 기계가 정미기(精米機, rice milling machine)이다.

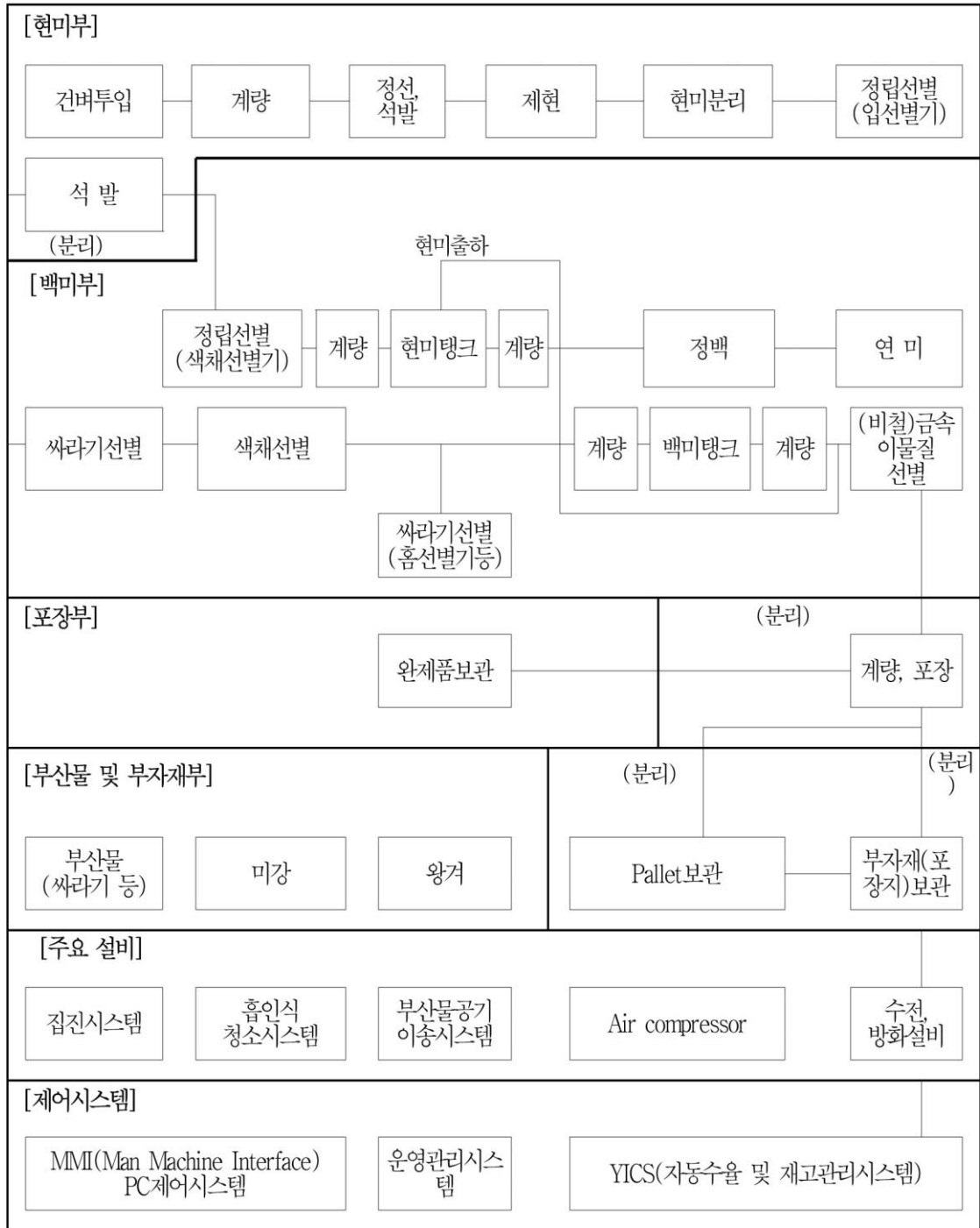
정미기의 정백작용에 이용되는 기계적인 힘에는 마찰, 절삭 및 충격 등이 있으며, 정백과정에서 이들의 힘이 복합적으로 작용하게 되나 마찰을 주로 이용하는 것이 마찰식(摩擦式, friction type)정미기이고, 절삭을 주로 이용하는 것이 연삭식(研削式, abrasive type)정미기이다. RPC 정미부는 정미기와 연미기 이외에 싸라기선별기(로터리쉬프트), 색채선별기, 흙 선별기 등으로 구성되어 있다. 현미의 가공을 위해 RPC에는 다

수대의 정미기가 사용되므로 일반적으로 이를 정미시스템(또는 정백시스템)이라고 한다. RPC에 설치된 정미시스템은 크게 나누어 마찰식정미기와 연미기만을 사용한 마찰식 정미시스템과, 연삭식 및 마찰식정미기와 연미기를 함께 사용하는 복합식 정미시스템으로 구분할 수 있다.

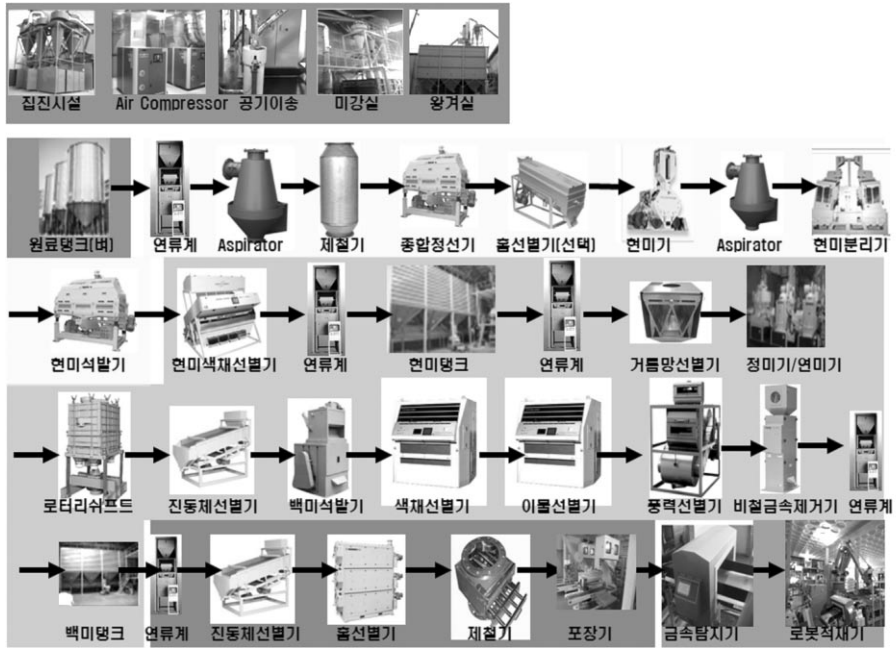
현미의 과피, 종피 및 호분층 등 미강제거가 부족하면 도정수율은 높아지나 식미와 외관품질이 떨어지며, 반대로 과도정되면 식미와 외관품질은 향상되고 지방산패로 인한 변질은 적어지나 도정수율이 감소한다(그림 12 참조).

쌀은 동일 낱알에서도 골 등으로 현미의 외형과 호분층의 두께가 일정하지 않고 낱알간에도 차이가 심하여 미강층을 일정하게 제거하기가 쉽지 않다. 쌀의 천립중을 20g, 1일 8시간, 연간 300일 가공한다고 가정할 때 10톤/hr의 도정능력을 갖는 RPC에서 도정되는 쌀의 낱알 수는 연간 약 1.2조립 정도로서 각 쌀 낱알의 각 부분은 물론, 낱알 간, 생산시기별로 차이가 없도록 일정하게 가공하는 것이 필요하다. 따라서 RPC에서는 생산시기에 무관하게 항상 적용할 수 있는 도정도와 관련된 품질기준으로 백도(白度, whiteness)를 사용하고 있다.

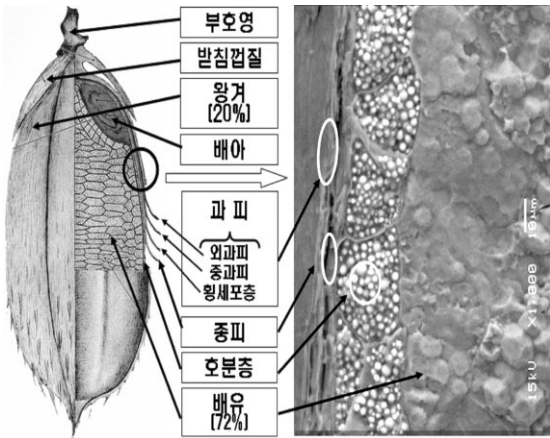
백도는 완전한 어둠을 0으로 하고, 마그네슘 리본을 태웠을 때 발생하는 하얀색 연기를 100으로 하고 그 사이를 100등분한 일종의 빛의 반사지수이다. 그림 13 및 식(5)에서 알 수 있듯이 도정도에 따라 백도는 일정하게 증가하지 않으므로 도



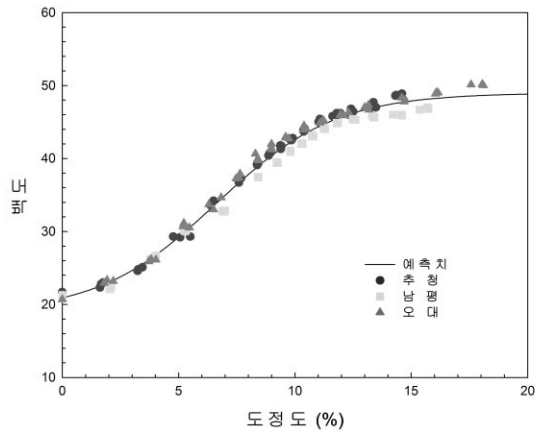
[그림 10] 가공부의 주요공정



[그림 11] 컨트롤 특성의 다양한 요소(밸브, 터미널유닛, 구동기, 열출력특성)



[그림 12] 벼 및 현미의 구조



[그림 13] 도정도에 따른 백도 변화

정도별 미강제거정도 및 취반한 밥의 식미, 도정도 증가에 따른 백도증가율 및 싸라기 발생을 등 식미와 수율을 고려할 때 정립기준으로 백도 약 40 ± 1 이 추천되고 있다.

$$W = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{(x-x_0)}{b}\right)} \quad (5)$$

여기서, W : 백도, a, b, x_0, y_0 : 실험상수,



x : 도정도

($a=30.1818, b=2.5584, x_0=6.6422, y_0=18.8087$)

RPC 정미시스템에서 가공될 현미는 품종별, 성상별(정립, 미숙립, 착색립, 사미 등)로, 함수율별로 강도(剛度, hardness)가 일정하지 않다. 연삭이나 마찰식정미기에서 동일조건의 압력일 경우 강도가 낮을수록 찌라기가 될 가능성이 높을 뿐 아니라 제거되는 미강량이 달라 낱알간의 도정도에 차이가 발생하게 되는데 이 때 낱알 간에 발생하는 차이를 도정편차(搗精差, milling difference)라고 한다.

도정편차는 정미기의 용량보다 지나치게 많거나 적은 쌀을 도정하거나, 도정배분이 적절하지 못한 경우, 낱알간의 강도에 차이가 많이 나는 경우에 주로 발생하고 있다. 도정편차가 발생하면 동일한 백도로 가공된 쌀에도 도정도가 높은 쌀과 낮은 쌀이 혼재되어 식미 및 외관품질저하, 유통중 지방산패의 증가 등 품질저하를 초래하고 도정수율이 저하된다. 따라서 도정편차가 최소화되는 방향으로 정미시스템이 운영되어야 하며, 이를 위해서는 각 RPC에서 도정편차가 어느 정도 발생하고, 그 원인이 무엇인지를 파악하는 것이 필요하다.

일반적으로 도정편차는 각 낱알의 백도차이나 도정된 쌀에 남아있는 잔존미강의 면적인 CBB (Colored bran balance) index 차이로 나타낼 수 있다. CBB index는 쌀 단립표면에 남아있는 미강의 면적비(%)로서 정미시스템 각 단계에서 쌀을 채취하여 각 낱알의 CBB index를 구하여 그 차이로서 도정편차를 구하는 방법이다. 쌀을 NMG(New-May Grüwald)시약으로 염색처리하면 종피, 호분층 및 배유(전분)층은 성분차이로 인해 상호 다른 칼라가 나타나게 되며, 이를 화상측정기를 이용하여 영상을 획득하고, 획득한 이미지는 소프트웨어를 이용하여 종피, 호분층 및 배유부분에 각각 다른 가상의 색(pseudo color)을 설정하고, 각각의 면적을 측정하여 구할 수 있다. 가상의 색으로 종피(A), 호분층(B) 및 배유층

(C)으로 구분된 영역을 Image analyzer를 이용하여 면적을 산출하고 종피와 호분층의 면적비율에서 CBB index는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

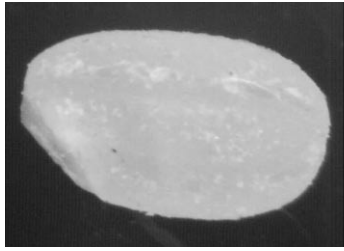
$$CBB\ index = \frac{(A+B)}{(A+B+C)} \times 100 \quad (6)$$

한편, 정백과정에서 도정이 진행될수록 곡온이 상승하여 곡물강도(剛度, hardness)가 도정압력을 견딜 수 없을 정도로 낮아지거나, 도정배분이 적절하지 못하여 지나치게 도정압력이 높아지면 낱알이 깨져서 찌라기가 발생된다(그림 14 참조).

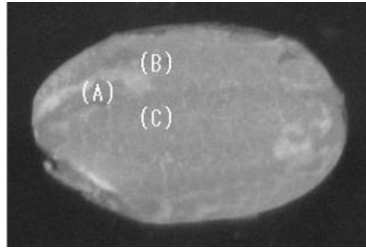
일반적으로 현미의 온도와 함수율이 높을수록 강도가 낮아져 찌라기발생량이 높아지며, 건조나 현미 수분조질 과정에서 발생된 동할립은 정상립에 비해 강도가 낮아 가공 중에 대부분 찌라기가 된다. 또한, 현미 비정상립은 정상립에 비해 강도가 낮아 가공중 쉽게 파쇄 또는 찌라기가 되어 쌀표면이 잔류미강으로 인해 오염되고, 정백실의 적정압력 유지가 어려워 도정특성도 나빠지므로 현미부에서 비정상립을 충분히 선별하는 것이 필요하다.

3 ~ 6대로 구성된 정미시스템의 각 단계에서 도정한 뭉(중량비)을 도정배분(搗精配分)이라고 하며, 도정배분이 부적합하면 도정편차가 발생하고, 찌라기발생량이 증가하게 된다. 특히 연삭식정미기에서 도정편차가 발생할 경우 마찰식을 통과하여도 도정편차가 해소되지 않는 경우가 많으며, 연삭식에서 도정이 많이 진행된 곡립은 마찰식을 통과하면서 과도정되어 수율저하의 원인이 된다.

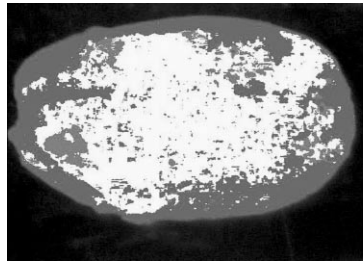
일반적으로 정미시스템의 도정특성에 영향을 미치는 인자는 정미기의 기계적인 특징 이외에도 정미시스템 구성, 원료 및 최종제품상태, 가공조건 등 대단히 많으므로 도정배분은 도정특성 영향인자를 고려하여 결정된다. 그러나 지금까지의 보고에 의하면 정미시스템에서도 각 정미시스템의 적정 도정배분을 제시하지 못하고 있을 뿐 아니라 각 RPC에서도 도정기사의 경험에 의해 도정배분을 조절하고 있는 실정으로 향후 적절도정



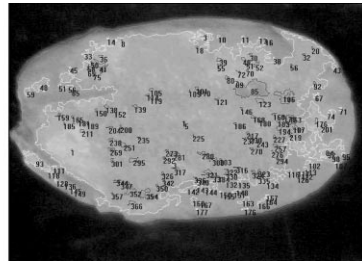
a) 도정된 쌀



b) NMG시약으로 염색처리된 쌀
(A)종피층 (B)호분층 (C)배유층(백미)



c) 가상의 색으로 전환



d) 도정되지 않은 면적 계산

[그림 14] NMG시약과 화상처리를 이용한 CBB index 측정과정

배분의 제시는 고품질 쌀 생산을 위해 무엇보다도 우선 해결되어야 할 과제가 되고 있다.

수율 및 안전성

RPC 비용중 원료비가 차지하는 비중이 약 93.5%(농촌경제연구원, 2004)로서 각 공정에서 발생하는 양적, 질적 감모(losses)를 최소화하여야 한다. 따라서 각 RPC에서는 지금까지 밝혀진 양적감모 즉, 수율저하의 형태와 발생량을 참고하여 해당되는 RPC의 각 부분에서 수율저하가 얼마만큼 발생되는지를 파악하고 시설 및 운영방법을 보완하여야 한다.

가공 중 수율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 가공원료인 현미중에 섞여있는 비정상립에 의한 손실, 가공중 찌라기발생에 의한 손실 및 도정편차 발생으로 인한 손실 등을 들 수 있으며, 특히, 현미중 미숙립, 착색립, 사미 등 비정상립은 가공하면 불량품이 되어 수율에 가장 큰 영향을 미치므로 현미 정상립 비율을 향상시키기 위한 노력이 필요하다.

RPC의 효율적인 설치 및 운영, 성능대비 가격 체계의 구축을 위하여 단위공정 및 단위기계에서 성능측정의 필요성이 제기되어 왔다. 제2세대 RPC의 보급과 함께 단위공정 및 단위기계의 성능목표치가 설정되었고 현장에서 평가가 실시되고 있다.

RPC에서는 각 단위공정에서의 성능이 목표치에 적합한지를 측정하여 시설 및 운영방법을 보완하는 것이 필요하다.

GAP는 생산단계부터 수확후 포장단계까지 농약, 중금속, 미생물 등 위해요소를 관리하는 제도로써, 국제적(FAO, Codex)으로 추진되고 있는 안전농산물 생산제도로써 법적근거는 농산물품질관리법이다.

소비자가 찾는 안전한 쌀 생산을 위해서 RPC시설은 GAP의 농산물우수관리시설기준에 적합하여야 하며, 분진으로 인한 오염 및 품종혼입 등의 중점적 관리가 필요하다. 이에 따라 RPC에 대한 농산물우수관리시설기준은 2006. 11월 한국식품연구원 최초 안이 제시되었고, 농림부와 국립농

산물품질관리원에서 심사매뉴얼을 작성하여 2007. 4월말에 확정되었으며, 현재 2회에 걸쳐 일부 항목이 수정되고 있다. RPC의 농산물우수관리시설기준의 주요사항은 안전성확보, 이력추적, 기타 용이한 시설의 운영과 청소 등이다.

쌀은 세척하여 취반하므로 생식하는 채소 및 과일에 비해 인체 유해성부분은 비교적 자유스러우므로 쌀에서 안전성은 주로 청결과 관련된 부분이 주요 관심사이다. RPC에서 쌀의 청결은 먼지에 의한 오염 및 이물질에 의한 오염방지가 필요하며, 주요 기준은 다음과 같다.

- ㉓ RPC는 오염물질 발생시설로부터 20 m 이상 이격되고, 해충, 이취, 폐수의 영향이 없어야 한다.
- ㉔ 반입 및 건조시설, 현미부, 백미부, 포장부 및 완제품보관실은 별도 또는 칸막이로 구획한다.
- ㉕ 왕겨실, 미강실 등의 밀폐, 먼지량은 대기오염배출시설의 기준에 적합하여야 한다.
- ㉖ 가공실 출입문은 2중문으로 내문은 먼지, 해충 등의 침입이 되지 않는 구조이어야 한다.
- ㉗ 분진 및 낙곡이 발생하지 않아야 하며, 집진시설이 충분하여야 한다.
- ㉘ 쌀과 직접 접촉하는 부분은 내부식성이어야 한다(권고) 등이다.

RPC에서 생산이력이 관리되는 농가단위로 벼의 구분관리가 불가능하므로 주로 계약 재배되는 작목반, 들판 및 읍면단위로 관리되고 있다. 이에 따라 RPC에 반입된 벼가 가공중 혼곡을 방지하는 것이 현재까지의 이력추적과 관련된 주요 부분이 되고 있다. 그러나 아직까지는 반입, 건조, 저장 및 가공과정에서의 완전한 구분관리가 어렵고, 최종 소비자에게 정확한 이력을 제공하기도 어려운 실정이다. 따라서 이력추적은 향후 시스템의 보완과 함께 RFID기반의 이력추적시스템과의 조합도 필요한 실정이다. 현재까지 이력추적과 관련된 주요 기준은 다음과 같다.

- ㉙ 현미 및 백미탱크는 쌀이 얼마만큼 보관되어 있는지를 확인할 수 있도록 점검창이 부착되어야 하며, 점검창은 이물에 오염되지 않아야 한다.
- ㉚ 단위기계, 이송시설 및 버퍼탱크 등은 잔곡이 존재하는지 여부를 쉽게 파악하고 배출할 수 있어야 한다.
- ㉛ 승강기 하부는 잔곡을 파악할 수 있는 점검창과 잔곡을 용이하게 배출시킬 수 있는 시설(에어 등) 등이 설치되어 있어야 하며, 수동배출도 가능하나 볼트 등으로 고정되어 있어서는 아니 된다 등이다.

RPC에서 안전성을 확보하고 용이하게 이력을 추적하기 위해서는 시설의 운영과 청소가 용이하여야 한다. 여기에는 시설의 청결유지 및 청소, 기타 상식적으로 청결을 유지할 필요가 있는 부분 등이 포함되며, 주요 기준은 다음과 같다.

- ㉜ 작업실 내벽과 천장은 먼지 등이 쌓여 곰팡이 등 미생물이 번식하지 않도록 청결하게 관리하여야 한다.
- ㉝ 천장의 자재는 우레탄 평판넬, 아이소월판넬, 트라수월판넬, 콘크리트로 빗물이 누수 또는 누습 되지 않아야 한다.
- ㉞ 천장과 내벽에 H빔이 노출되지 않도록 시공되어야 한다.
- ㉟ 작업장은 적정한 조도(220Lux이상)를 유지하여야 한다.
- ㊱ 조명기구는 청결하게 유지하여야 하고, 오염을 방지하기 위하여 커버나 덮개 등 보호 장치를 설치하여야 한다.
- ㊲ 외부공기는 포장부, 가공부, 원료부 순서로 흐르도록 하고, 공기 유입부는 방충망, 필터 등을 사용하여 최대한 깨끗한 공기가 유입되도록 하여야 한다.
- ㊳ 가공실 종사자는 머리카락 등이 쌀에 혼입되지 않도록 자체적인 복장기준(작업복, 모자, 작업화, 장갑 등)을 정하여 이행하여야 한다.
- ㊴ 가공실에 종사하는 자는 주기적(2년 1회)으

로 건강진단을 받아야 하며, 건강진단결과 타인과 쌀에 위해를 끼칠 우려가 있는 자는 가공업에 종사시켜서는 아니 된다

- ㉔ 가공실 등 출입문에는 가급적 에워샤워기를 설치하여야 한다(권장) 등이다.

참고문헌

1. 김동철, 김의웅, 김훈. 2006. RPC 시설 및 운영기술 매뉴얼. 농림부, 한국식품연구원
2. 김동철, 김의웅, 김훈 등 2010. 가공시설현대화사업 성능검사 방향
3. 김의웅, 김동철, 김훈 등. 2005. RPC수확후 품질개선에 관한 연구. I01671-05027. 농협중앙회
4. 김의웅, 김동철, 김훈, 이세은 등. 2005. 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 균일 도정기술 개발. E052002-05120. 한국식품연구원 연구보고서.
5. 김의웅, 김상숙, 김동철, 김훈 등. 2005. 산물 벼의 실중량 거래를 위한 정선지수 측정시스템 개발. GA0574-05072.
6. 김의웅, 김동철, 김훈, 이세은, 김상숙, 박종대 등. 2006. RPC 고품질 쌀 정미가공기술 연구. I01730-06088. 한국식품연구원 연구보고서.
7. 김의웅, 김동철, 이세은, 김훈 등. 2007. 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 RPC remodeling 모델개발. GA0679-07020. 농림수산식품부 보고서.
8. 김의웅, 김동철, 김훈 등. 2010. 클린라이스 품질기준설정 및 제조시스템개발. 107015-3. 농림수산식품부
9. 김의웅, 김동철, 김훈 등. 2010, 2011. 에너지절감형 RPC 가공공정모델개발(1, 2차년도 결과보고서). 농림수산식품부
10. 김의웅, 김동철, 김훈 등. 2011. 벼의 산물 처리에 따른 감모기준 및 재고량예측기술개발(1차년도 결과보고서). I01874. 농협중앙회
11. 고학균, 금동혁, 김동철 등. 2000. 농협미곡종합처리장 설계기준. 농협중앙회 미곡종합처리장 자문단 ㉔