

벼의 공기 밀폐저장 특성[†]

Airtight Storage Characteristics of Rough Rice

금 동 혁*	김 훈*	김 동 철**
정희원	정희원	정희원
D. H. Keum	H. Kim	D. C. Kim

SUMMARY

This study was performed to investigate airtight storage characteristics of rough rice using airtight flexible pvc container. A storage test of rough rice of 4 tonnes was carried out to determine the changes of gas composition of air in the container, grain moisture content, air temperature and relative humidity, the presence of insects, germination rate, crack ratio, fat acidity, 1000-kernel weight, and brown rice recovery over storage period of 5 months in Suwon.

Concentration of oxygen was decreased from 20% to 16% and carbon dioxide was increased from 0.03% to 1.6%. The grain moisture content was decreased from 14.4%(w.b.) to 14.1%(w.b.) for 5 months storage period. Insect population levels were low but these increased after 5 months storage. Most of insects were dead. Fat acidity increased from 7.5(mg KOH/100g) to 10.2(mg KOH/100g). Other storage factors such as germination rate, brown rice recovery, and 1000-kernel weight were slightly decreased and crack ratio was slightly increased.

Qualities of rough rice during 5 months storage period under hermetic air conditions were maintained fairly good considering the above changes of quality factors during storage.

주요용어(Key Words) : 공기 밀폐저장(Airtight storage)

1. 서 론

우리나라에서 생산되는 벼의 20% 내외는 정부가 수매하여 정부 보관창고에서 저장하고 있고, 나머지 80%의 물량은 농가에서 저장하고 있다. 정부의 벼 저장시설은 대부분 상온에서 포대저장을 하는 평창고이며, 운영비용이 많이 들고 관리가 어려우며 해충이나 쥐의 피해를 받을 우려가 크다. 또한 하절기에 곡물의 관리가 어려워 미질의 저하를 초래하기 쉽다. 이러한 정부 양곡 저장시설에서의 벼의 저장 중 양적·질적 손실은 2% 정도로 추정된다. 농가에서의 벼 저장은 68% 정도가 재래식 공간에서 이루어지며, 개량공간은 3%에 불과하다. 그 외는 임도정공장 등에 위탁저

장하고 있다. 재래식 공간에 주로 의존하는 우리나라의 농가 저장방법은 막대한 양의 양적·질적 손실을 초래한다. 농가의 저장시설에서의 저장 중 양적 손실은 약 5%로 추정되고 있으며, 질적 손실은 더욱 클 것으로 추정된다. 미곡종합처리장에는 규모 600~1200톤 규모의 저장시설이 건설되었으나 저장시설의 부족으로 많은 곳에서 확장사업을 하고 있으며, 더욱이 '95년도부터 산물수매 사업을 시작함에 따라 저장시설의 부족은 배가되고 있는 실정이다. 따라서 농가에서 저장할 수 있는 경제적 규모의 저장시설과 미곡종합처리장에서 장기저장시설 뿐만 아니라 일시적인 저장시설의 개발과 확충이 시급한 실정이다.

곡물의 공기 밀폐저장기술은 외기 공기의 유입

[†] 본 연구는 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음

* 성균관대학교 생명자원과학부 생물기전공학과

** 한국식품개발연구원 특수연구사업단 쌀 연구사업부

을 차단하여 곡물의 호흡을 억제하여 저장고내의 산소량을 감소시키고 탄산가스량을 증가시켜 해충과 미생물의 발생을 억제하는 기술이다. 공기 밀폐저장 기술은 지하 저장구조물의 형태에서 반지하형 및 지상 소규모형으로 발전되어 왔다. 이 기술은 설치비용이 고가이고, 운영 및 관리에 어려움이 많지만, 저렴한 밀폐저장시설이 개발되면서 곡물의 저장에 이용되고 있다. 최근에 이스라엘에서는 설치비가 저렴한 병커형, 고정형, 이동형 등 3가지 형태의 플렉시블 공기 밀폐저장고가 개발되었고, 주로 열대와 아열대지방에 널리 보급되고 있다(Navarro and Donahaye, 1985).

Donahaye 등(1993)은 이스라엘에서 밀 15,567톤을 병커형 공기 밀폐저장고에서 15개월동안 저장 실험을 수행하였다. 저장기간동안 산소의 농도는 6% 감소, 탄산가스의 농도는 9% 증가되었으며, 저장곡물의 손실은 0.21%로 보고하였다. 또한, 밀 73톤을 이동형 공기 밀폐저장고에서 48개월간 저장 실험을 수행한 결과 탄산가스의 농도는 10% 증가하였으며 산소의 농도는 5% 감소하였고, 곡물의 함수율과 발아율의 변화는 적었으며, 해충의 생존은 없는 것으로 보고하였다.

Navarro 등(1991)은 스리랑카에서 포대상태의 벼 20톤을 고정형 공기 밀폐저장고에서 7개월 동안 저장 실험을 수행하였다. 저장기간 동안 저장고내의 평균온도는 33-35℃였으며, 산소는 5% 감소, 탄산가스는 15% 증가하여 해충의 억제에 직접적인 효과를 가져온 것으로 보고하였다.

Alvandia 등(1994)은 필리핀에서 옥수수 2톤을 이동형 공기 밀폐저장고에서 10개월간 저장 실험을 수행하였다. 저장기간동안 탄산가스의 증가로 인한 해충 억제의 효과를 가져왔고, 저장곡물의 품질과 중량손실은 적은 것으로 보고하였다.

김(1995)은 국내에서 벼 250톤을 고정형 공기 밀폐저장고에서 동절기와 하절기에 4개월동안 저장 실험을 수행하였다. 저장고내의 산소 및 탄산가스는 각각 8% 및 14.1%로 해충의 억제와 호흡을 감소 등의 간접적인 효과를 가져왔고, 함수율 변화는 미비한 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 곡물의 밀폐저장 기술이 활발히 연구되고 있는 이스라엘의 ARO (Agricultural Re-

search Organization)와 밀폐저장시설 업체인 Hao-genplast사에서 공동 개발한 기밀성, 수밀성 및 자외선에 대한 저항력이 강한 PVC로 만든 플렉시블 이동형 밀폐저장고를 벼 저장실험에 사용하였다.

본 연구의 목적은 공기 밀폐저장고를 이용한 장기간의 벼 저장실험을 통해 저장고내의 산소 및 탄산가스, 저장고내 공기의 온도 및 상대습도, 함수율, 지방산도, 발아율, 동할율 등의 변화특성을 구명하여 적용성을 검토하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

경기도 용인군 남사면에서 1996년 10월에 수확한 추청벼 4톤을 40kg 포대로 구입하여 공시재료로 사용하였다. 공시시료 100포대(4,000kg) 중 임의의 10포대(400kg)를 선정하여 초기 품질을 측정하는데 사용하였다. 공시재료의 초기함수율은 14.4%(w.b.)였다.

나. 실험장치

본 연구에 사용된 공기 밀폐저장고는 두께 0.83mm의 pvc로 제작하였다. 저장고는 하부와 상부 덮개로 구성되어 있는 직육면체로, 하부와 상부는 2중으로 된 고무지퍼를 사용하여 밀폐되게 하였다.

ASTM의 실험방법에 따라 공기 밀폐저장고의 재료로 사용한 pvc의 물리적 특성을 분석한 결과는 다음의 표 2와 같다.

다. 실험방법

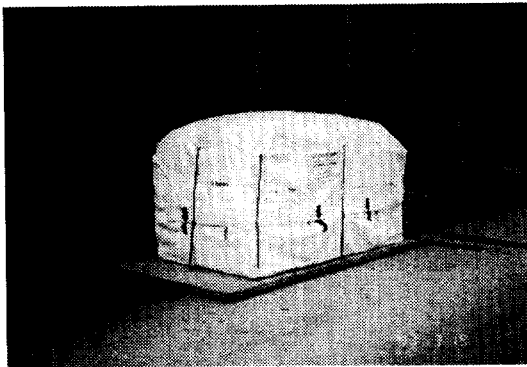
그림 1은 공기 밀폐저장고를 야외에 설치한 모습이다. 그림 1-(a)와 같이 저장고의 바닥에는 15cm 정도의 목재를 깔아 배수가 되도록 하였으며, 태양의 직사광선과 비 등의 영향을 직접 받는 곳을 실험장소로 선정하여 자연현상에 의한 벼의 품질변화와 저장고의 특성을 알 수 있도록 하였다. 벼 100포대를 8단으로 적재하였다. 그림 1-(b)와

Table 1 Specifications of airtight storage

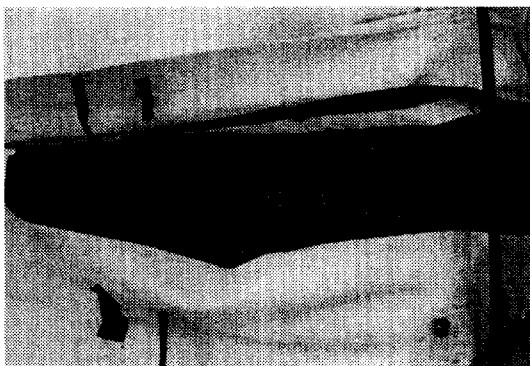
Length (cm)	Width (cm)	Height (cm)	Volume (m ³)	Capacity (ton)	Weight (kg)
295	170	150	7.5	5	29.5

Table 2 Physical properties of PVC sheeting for airtight storage

Factors	Physical properties
Permeability to water vapour (ASTM E-96)	8g/m ² /24hr at 38°C
Gas transmission rate (ASTM D-144-82)	O ₂ : 326 cc/m ² /day/at CO ₂ : 555 cc/m ² /day/at
Minimum tensile strength (ASTM D-882)	Length : 200 kg/cm Across : 185 kg/cm
Elongation at break (ASTM D-882)	Length : 290 % Across : 305 %
Angle tear test (ASTM D-1004)	Length : 75 kg/cm Transverse : 71.6 kg/cm
Shrinkage	at 0°C compared to 35°C : 0.9%



[a]



[b]

Fig. 1 Airtight storage container used in rough rice storage test.

같이 상단과 하단 끝 부분은 2중 지퍼로 결속하여 연결부위의 공기 유입이 없도록 하였다.

저장고의 최상단에는 왕겨를 30cm 정도 고르게 퇴적하여 직사광선의 직접 영향을 받는 상단의 벼를 보호되도록 하였다.

저장은 '97년 3월 24일에서 '97년 8월 30일까지 약 5개월 동안 하였다.

(1) 온도와 상대습도 및 산소·이산화탄소 농도 측정

저장고내의 온도와 상대습도의 변화는 저장고의 상부, 중앙 및 하부의 3지점과 외기의 1지점에 대하여 온·습도 센서(HX 11V, OMEGA, USA)를 설치하고, 자료수집장치(DATASCAN 7327, U.K)를 이용하여 3시간 간격으로 측정하였다. 저장고내의 산소·이산화탄소 변화량은 저장고 중앙에 직경 5mm의 이중 고무마개를 설치하고, 주사기로 공기를 추출하여 O₂·CO₂ Analyzer (M-8003, Denmark)로 1주일 간격으로 측정하였다.

(2) 저장 벼의 품질

저장 벼 10포대중 임의 10포대를 선정하여, 저장고의 상부와 하부에 2포대, 중앙에 6포대를 동·서와 남·북으로 고르게 퇴적하였다. 이 10포대에서 저장 전과 저장 후에 시료를 채취하여 함수율, 발아율, 지방산도, 동할율, 해충, 천립중 및 제현율을 측정하였다. 또한, 저장고 중앙에 직경 40mm 시료 채취구를 설치하여 10일 간격으로 시료를 채취하여 저장기간중의 품질변화를 측정하였다.

함수율은 10립 - 135°C - 24hr 건조법으로 측정하였다. 발아율은 현미 정립 100립을 물로 충분히 세척하여 직경 15cm 유리접시에 고르게 분포시킨 후 여과지가 충분히 젖을 정도로 물을 가하여 20°C의 항온기에 넣고 7일 이내에 발아한 비립수를 측정하였으며, 식미분석기(AN-800, Kett, Japan)를 이용하여 지방산도는 측정하였으며, 동할율은 현미 1,000립에 대하여 품질판정기(RN-500, Kett, Japan)를 이용하여 측정하였다. 벼 1kg을 대상으로 발생한 해충의 수를 측정하였으며, 천립중은 벼 1,000립을 전자저울(Satorius L420P, GEP)로 중량을 측정하였으며, 제현율은 벼 300g을 자동제현율측정기(HanSung, Korea)를 이용하여 측정하였다. 함수율, 지방산도 및 동할율은 3회, 발아율, 해충, 천립중 및 제현율은 5회 반복 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 온도 및 상대습도의 변화

저장고내의 온도와 외기 온도의 변화는 그림 2에 나타내었다. 외기 온도는 3월 하순경에 4°C에서 점차 상승하여 8월 하순경에 30°C까지 상승하였다. 저장고내의 온도는 3월 하순에서 6월 초까지 12°C~18°C, 6월 중순부터 8월 하순까지는 23°C~30°C로 나타났다. 여름철 외기 온도가 상승하면서 저장고내의 온도도 동시에 상승하였지만, 외기 온도의 변화에 비하여 완만하게 상승하였다.

저장고내의 상대습도와 외기의 상대습도 변화는 그림 3에 나타내었다. 저장기간중 외기 상대습도의 변화는 40%에서 100%까지 밤·낮의 변화가 심하였으나, 저장고내의 상대습도는 60%에서 80% 범위에서 변하였으며, 외기에 비하여 변화의 폭이 적었다.

나. 산소 및 이산화탄소의 농도 변화

그림 4는 저장고내의 산소와 이산화탄소의 농도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 산소의 농도는 저장초기에는 거의 변화없이 21%를 유지하였으며, 6월초부터 감소하기 시작하여 8월 중순에는 16%를 나타내었다. 이산화탄소 농도의 증가는 산소의 농도 감소의 시기에 대응하여 변화를 나타내었다. 즉, 초기에는 농도변화가 없다가 6월 초부터 서서히 증가하여 8월 중순에는 1.6%까지

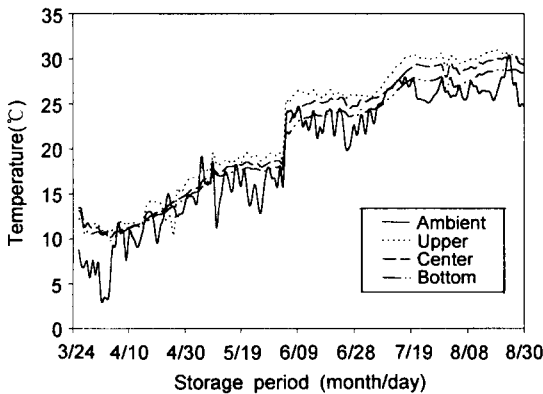


Fig. 2 Air Temperatures changes in storage during storage period (Mar. 24 ~ Aug. 30, 1997).

증가하였다. 이와 같은 현상은 저장 초기에는 비의 함수율이 낮고 저장고내의 온도가 비교적 낮은 20°C 이하를 유지하여 비의 호흡이 거의 중단된 상태로 해석되며, 저장고내의 온도가 20°C를 상회하는 6월초부터는 호흡이 서서히 증가하였으며, 8월 중순에는 저장고내의 산소의 감소로 호흡이 다시 중단된 상태로 해석된다.

다. 저장 비의 품질변화

(1) 함수율 변화

그림 5는 저장기간 중 비의 함수율 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 함수율이 14.1%~14.4%(w.b.) 범위에서 증가·감소의 경향을 나타내었

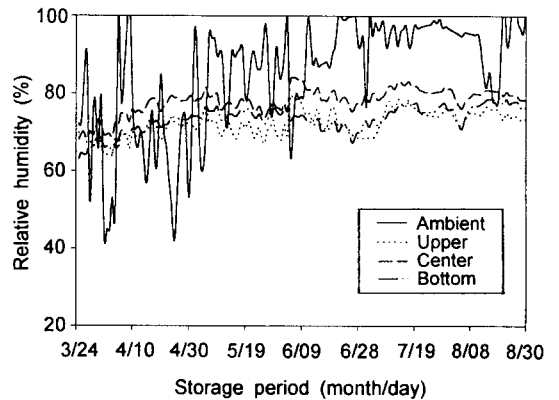


Fig. 3 Relative humidities changes in storage during storage period (Mar. 24 ~ Aug. 30, 1997).

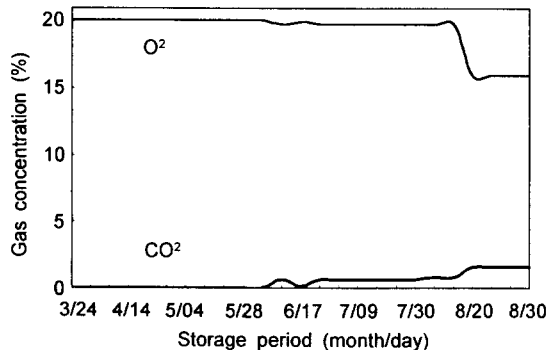


Fig. 4 Gas concentration changes during storage period (Mar. 24 ~ Aug. 30, 1997).

Table 3 Comparison of rice quality factors at the beginning and end of storage in airtight storage system

	Germination rate (%)	Crack rate (%)	Insect (num/kg)	Thousand kernel weight (%)	Brown rice recovery (%)
Beginning	97.6	20.47	5.3	24.3	81.31
End	96.5	20.87	9.0	23.8	81.26

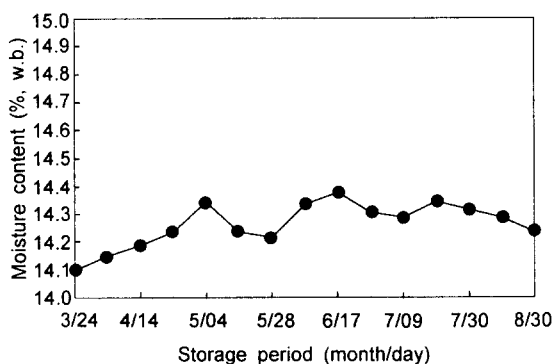


Fig. 5 Moisture content changes during storage period (Mar. 24 ~ Aug. 30, 1997).

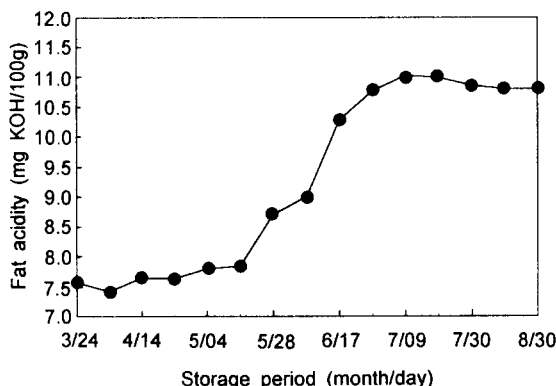


Fig. 6 Fat acidity changes during storage period (Mar. 24 ~ Aug. 30, 1997).

으나 매우 미세한 변화로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

(2) 지방산도의 변화

그림 6은 저장기간 중 벼의 지방산도의 변화를 나타낸 것이다. 저장 초기의 지방산도는 7.5(mg

KOH/100g)이었으며, 3월부터 5월 중순까지는 산도의 증가가 거의 나타나지 않았으며, 저장고내의 온도가 상승하는 5월 하순부터 증가하기 시작하여 8월말에는 11(mg KOH/100g)까지 증가하였다. 이와 같은 수치는 벼 품질저하의 지표가 되는 지방산도가 20(mg KOH/100g)의 1/2 수준에 불과하여 저장 벼의 품질 저하는 일어나지 않은 것으로 판단된다.

(3) 저장 전후의 품질 지표 비교

표 3은 벼의 저장 전후의 발아율, 동할율, 해충수, 천립중 및 제현율을 비교한 것이다.

발아율은 저장 시작시의 97.6%에서 저장 종료 후에 96.5%로 1.1%로 감소하였다. 이는 발아율 감소 5%를 품질저하의 기준임을 고려할 때 발아율은 매우 양호하게 유지된 것으로 판단할 수 있다.

또한, 동할율은 저장 시작시의 20.5%에서 저장 종료 후 20.9%로 약 0.4% 증가하는데 불과하였다. 이는 저장 초기의 동할율이 20.5%로 높게 나타나 곡물의 초기 상태가 매우 불량하였음에도 불구하고 매우 양호한 상태로 저장된 것으로 판단할 수 있다.

저장 시작과 종료 후에 검출된 해충은 보리나방이었으며, 그 밀도를 보면 저장 시작시의 벼 1kg 당 5.3마리였으나 5개월 저장 후에는 9.0마리로 증가하였으며, 9마리 중 7마리는 사멸한 성충이었으며, 2마리는 생존한 유충이었다. 이는 유충이 발생하여 성장하다가 이산화탄소의 농도 증가로 사멸한 것으로 판단된다.

천립중은 24.3g에서 23.8g으로 약 2%, 제현율은 저장 전후 모두 81.3%로 변화가 없는 것으로 나타났다.

이상의 저장 벼의 품질변화를 나타내는 발아율, 지방산도, 동할율, 해충밀도, 천립중 및 제현율이 모두 매우 양호한 상태를 나타내어 저장 중에 벼의 품질은 저하되지 않은 것으로 판단된다.

또한 저장고는 태양의 직사광선, 외기의 고온,

비, 바람 등에 의한 변형과 쥐 등 설치류에 의한 피해는 나타나지 않았다.

4. 결 론

공기 밀폐저장고를 이용한 벼의 저장실험을 통해 저장고내의 산소 및 탄산가스 농도, 저장고내 공기의 온도 및 상대습도변화, 벼의 품질 변화특성을 구명하기 위하여 본 연구가 수행되었다. 공기 밀폐저장고는 pvc로 제작하였으며, 저장실험 기간은 97년 3월 24일부터 8월 30일까지 약 5개월간 수행되었으며, 4톤의 벼를 실험에 사용하였다. 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 저장기간 중의 외기 온도는 3월 하순경에 4℃에서 점차 상승하여 8월 하순경에 30℃까지 상승하였고, 저장고내의 온도는 3월 하순에서 6월초까지 12℃~18℃, 6월 중순부터 8월 하순까지는 23℃~30℃로 나타났다. 외기 상대습도의 변화는 40~100%까지 밤낮의 변화가 심하였으나, 저장고내의 상대습도는 60~80% 범위에서 변화였다. 저장고내의 온도 및 상대습도는 외기에 비하여 변화의 폭이 적었다.

2) 저장고내의 산소 및 이산화탄소 농도는 저장종료 후에 각각 16%와 1.6%로 나타났다. 이는 해충발생의 억제와 벼의 호흡을 감소 등의 효과를 예측할 수 있었다. 이산화탄소는 1.6%로 낮게 나타났다는데, 이는 저장 벼의 초기함수율이 낮은 데서 기인하는 것으로 판단된다.

3) 저장 벼의 함수율은 저장기간동안 0.3%(w.b.) 이내에서 증감을 반복하였으며, 발아율은 1.1% 감소하였으며, 지방산도는 7.7(mg KOH/100g)에서 10.2(mg KOH/100g)로 증가하였으며, 동할율은 약 0.4% 증가하였다. 해충밀도는 벼 1kg당 5.3마리에서 9마리로 증가하였으나, 9마리중 2마리는 살아있는 유충이었으며, 7마리는 죽은 성충이었다. 천립중은 0.5g 감소하였으며, 체현율은 거의 변동이 없었다.

4) 저장 중 벼의 품질에 영향을 주는 인자를 분석한 결과 벼의 품질변화는 미비한 것으로 판단되며, 벼의 저장상태는 매우 양호한 것으로 나타났다.

5) 태양의 직사광선, 외기의 고온, 비, 바람 등에 의한 저장고의 변형과 쥐 등 설치류에 의한 피해는 나타나지 않았다.

6) 공기 밀폐저장고는 설치가 쉽고, 기계-화학적인 방법에 비해 소음과 조작의 위험이 없어 사용자에게 안전한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 김동철. 1996. 공기밀폐사일로 시범사업 저장시험보고서. 농협중앙회 '96 양곡부 시범사업자료.
2. Alwindia, D. G. and F. M. Caliboso. 1994. Modified atmosphere storage of bagged maize outdoor using flexible liners. Proceeding of the 6th international working conference on stored-product protection p. 22.
3. Digvir S., Jayas and Noel D. G. White. 1995. Stored grain ecosystems. Marcel Dekker. Inc.
4. Donahaye, E., Navarro, S., A. Ziv and Weerasinghe. 1991. Storage of paddy in hermetically sealed plastic liners in Srilanka. Trop. Sci 31: 109-121.
5. Navarro, S. and E. Donahaye 1985. Plastic structures for temporary storage of grain. Asian Technical seminar.
6. Navarro, S. and F. M. Caliboso. 1996. Application of modified atmospheres under plastic cover for prevention of losses in stored grain. NAPHIRE final report.
7. Navarro, S. and E. Donahaye. 1993. Preservation of grain by airtight storage. 5th Int Cong. on Mechanization and Energy in Agriculture.