



청과물의 수송손상평가와 수송시물레이션

In-transit damage evaluation of fresh fruits and Vegetables and Simulated transport test

椎名 武夫 / 農水省 食品綜合研究所 食品工學部 流通工學研究室長

1. 머리말

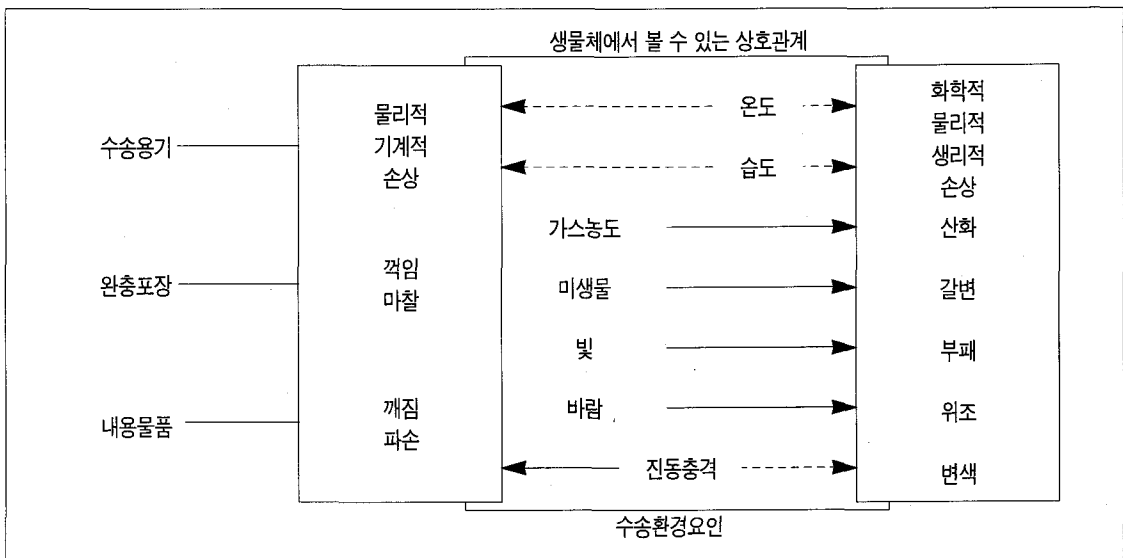
일반적으로 식품의 유통환경으로서는 [그림 1]에 나타냈듯이 온도, 습도, 가스농도, 미생물, 빛, 바람, 진동충격 등이 있다.

이들 환경요인이 ① 생리적, 화학적, 생리적변질 및 ② 기계적, 물리적 변질에 직·간접적으로

영향을 미친다. 청과물은 조직이 연하고, 수분함유량이 높고, 수확 후에도 호흡·증산 등의 생활생리를 영위하고 있는 등의 특징을 가지고 있다. 따라서, 다른 식품에 비해 유통환경요인의 영향을 강하게 받으며 동시에 ①과 ②가 상호 관계되어 보다 한층 변질이 진행된다.

따라서 그 품질보호에 있어서는, 이들 환경조

(그림 1) 물류환경요인과 식품의 변질



건을 청과물의 성상에 맞춰 적정하게 컨트롤하는 것이 특히 중요하다.

2. 수송시뮬레이션

2-1. 진동에 의한 손상도의 추정

2-1-1. 손상도의 정의

포장된 물품의 기능에 손상을 일으키지 않게, 물품이 견딜 수 있는 최대 가속도를 G (동력의 가속도 배수)로 나타낸 것을 G 팩터라 하고, 물품의 내충격성의 지표가 된다.

충격력이 G 팩터보다도 작은 진동가속도이더라도 그것이 반복해 작용할 경우 내용물에는 타박, 긁임, 마찰 등 물리적인 파손이 생긴다.

이들 물리적 손상이 물품에 반복해 작용하는 외력으로 피로파손에 의해 생기는 것이라는 개념을 도입하면, 축적피로에 관한 선형측에 의해, 각종 포장식품의 내진동성이나 완충포장의 성능을 정량적으로 평가하는 것이 가능하게 된다.

지금 일정 크기의 외력 p 가 물품에 반복해 작용할 때, 파손에 이르기까지 허용될 수 있는 진동의 총 사이클수 N 과의 관계는

$$N \cdot p^\alpha = \beta \quad (1)$$

가 된다. 외력 p 는 작용하는 진동가속도 G 에 비례하기 때문에, G 와 N 과의 관계도 새로운 β 를 이용해 마찬가지로 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$N \cdot G^\alpha = \beta \quad (2)$$

단지 α , β 는 물품에 고유의 정수이며, α 가 큰 만큼 물품의 손상은 진동가속도의 크기에 영향

을 받기 쉽고 동시에 β 가 큰만큼 동일한 가속도 하에서 진동에 대한 내성이 크다고 판단할 수 있다.

그런데 수송중에 물품에 가속도 G 의 진동이 n 회 작용했을 때, 손상의 정도를 나타내는 손상도 D 를 다음식으로 정의한다.

$$D = n/N \quad (3)$$

여기에서, $n(N$ 즉 $D < 1$ 의 경우 물품은 파괴되지 않고, $n \geq N$ 즉 $D \geq 1$ 의 경우 물품은 파손되어 상품가치를 잃게 된다.

2-1-2. 식품의 내진동성

[그림 2]에 각종 완충포장된 청과물의 G 와 N 의 관계(피로파손특성 곡선, 이하 S-N 곡선)를 나타냈다.

예를 들면 1.8G 크기의 가속도 하에서는, 폴리염화비닐용기에 정연하게 넣은 딸기는, 약 100회 반복의 진동으로 밖에 견디지 못하지만, 발포폴리스티렌제 용기(PSP팩)에 넣은 20세기 배에서는 약 1만회의 반복에도 견딜 수 있다는 것을 알수 있었다.

2-1-3. 손상도의 추정

실제의 수송 중에는 동일 수준의 가속도만이 지속되는 것은 아니며, 여러가지 크기의 가속도가 각각 임의의 횟수 생긴다.

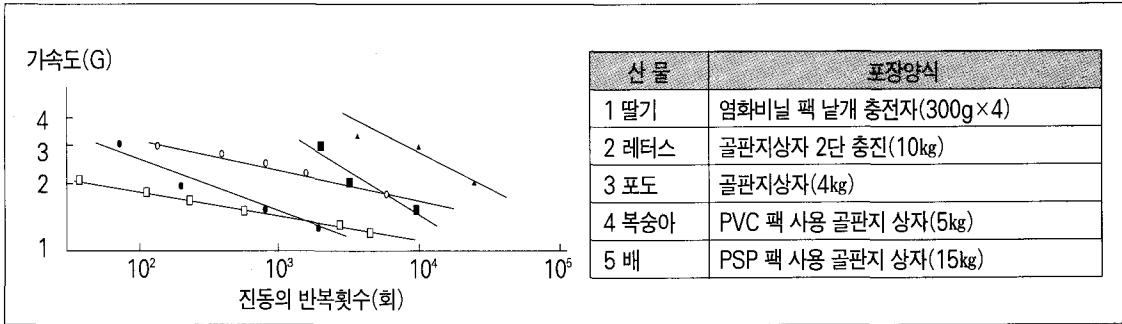
즉 여러가지 수준의 가속도 G_1 이 n_1 회씩 물품에 작용한다고 하면, 손상도 D 는 축적피로의 선형측에서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \sum(n_1/N_1) = 1/\beta \sum n_1 G_1^\alpha \quad (4)$$

한편, 진동가속도를 랜덤진동(실제 수송시의



(그림 2) 포장된 청과물의 S-N곡선



진동가속도는 확률 통계적으로는 정상적인 랜덤 진동이다)으로서 취급, 전기식 가속도계에 의해 기록된 신호를 기초로, 기대진동수 f_0 와 평균가속도 σ 가 해석되면, 이 경우의 손상도 D는 다음 식으로 정의된다.

$$D = f_0 T / \beta (\sqrt{2\sigma})^\alpha \Gamma(1 + \alpha/2)$$

단, T는 수송 중의 실주행시간과 같고, Γ 는 감마함수이다.

2-2. 수송시물레이션

2-2-1. 시물레이션의 목적

설계된 완충포장의 성능을 실증하거나, 기존의 완충포장 문제점이나 개선점을 추출하는 방법으로서, 종래부터 여러가지 수단으로 실제 규모의 수송을 반복하는 수송시험이 행해졌다.

그러나 이 방법은 시간과 노력을 요하는 것이어서 비교적 리스크를 안기 때문에 반복해 시험이 어렵고, 재현성이 있는 데이터를 얻기 어려워 사례적 시험이 될 경향이 있었다.

수송시물레이션은 이들 실제규모의 수송시험에 있어서의 문제점을 해결하기 위해, 현장에서 발생하는 진동, 충격, 온도, 습도 등의 수송환경

요인을 실험실에서 재현하고, 수송기술의 개선을 효율적으로 하려고 하는 것이다.

완충포장이라는 관점에서는, 수송시물레이션에 있어서 가장 중시해야 할 요인은 진동, 충격이며, 이 때문에 진동시험기가 이용된다.

수송시물레이션은, 진동시험기에 의해 실제의 수송시에 발생하는 진동에너지와 등가에너지를 완충포장으로 하는 것이다.

즉, 실제의 수송시에 받는 등가 손상도를 시물레이션에 의해 물품에 주도록 진동시험시의 가속도 크기를 설계하면 좋다.

또 실제규모의 수송시험에 있어서 문제점을 개선하기 위해, 수송시물레이션에서는 이하의 3 조건을 고려해야 한다.

① 수송시물레이션을 완충포장성능이 효율적인 실증법으로서 확립시키기 위해, 가장 간단한 조화진동에 의한 시험방법을 개발한다.

② 공시하는 포장물의 양을 최소로 하기 위해, 최소 포장단위에 의한 시험방법을 확립한다.

③ 단위시간내에 있어서의 시험횟수를 늘려 데이터의 재현성을 높이기 위해, 시물레이션에 요하는 시간을 실제 규모의 수송의 1/5 - 1/10

정도로 단축하기 위한 시험방법을 확립한다.

2-2-2. 시뮬레이션조건의 설정

①, ②의 조건을 만족시키는 시뮬레이션기술을 확립하기 위해서는, 미리 시뮬레이션해야 할 수송기관의 진동 상황을 조사, 특히 랜덤진동으로서 처리해야 할 진동에 관해서는, 확률통계적 수법을 이용해 기대진동수, 평균가속도, 확률밀도분포 등에 관해서 해석할 필요가 있다.

또 수송기관에 화물이 다단으로 적재되는 경우를 생각, 다단적재화물의 진동특성에 관해서 검토를 함과 동시에, 적재함 위에서 가장 위험하다고 생각되는 완충포장물품의 동태를 파악할 필요가 있다.

또 ③의 조건을 만족시키기 위해서는, 가진시의 가속도 크기는, 시뮬레이션 시간을 실제의 수송시간과 동등하게 할 경우에 대해 무게를 단 것이 된다(가속도를 크게 한다).

일반적으로 가진시의 가속도 크기는 이하의 방법으로 산출한다.

■ 가진시간을 실제의 수송시간으로 할 경우

가. 실제의 수송시 진동가속도로, 가속도의 크기마다 발생빈도가 관찰되고 있는 경우, 이 때의 손상도는 (4)식으로 주어진다.

진동의 총 반복수($\sum n_1$)가 같고, 게다가 등가한 손상도를 주는 조화진동의 가속도 G에 의한 손상도는

$$D = \sum n_1 / N = G\alpha / \beta \sum n_1 \quad (6)$$

로 주어지기 때문에, G는

$$G = (\sum n_1 G\alpha / \sum n_1) / \alpha \quad (7)$$

이 된다.

나. 실제의 수송시 진동가속도가 랜덤진동으로서, 그 실효치와 기대진동수가 관찰되고 있는 경우, 랜덤진동에 의한 손상도는 (5)식으로 주어진다.

이것과 등가한 손상도를 주고, 진동의 총 반복수($\sum n_1$)가 ($f_0 T$)로 같은 조화진동의 가속도 G는, (4), (5)식에서

$$G = \sqrt{2\sigma[\Gamma(1 + \alpha/2)]} / \alpha \quad (8)$$

로 산출된다.

■ 가진시간을 실제의 수송시간보다 단축할 경우

시뮬레이션시 진동가속도 G' 는 전항에서 구한 시간규모가 같은 시뮬레이션 경우의 진동가속도 G에 대해 무게를 단 것이 된다. 즉, T_0 , T를 각각 실제의 수송시간, 시뮬레이션시의 진동시간으로 하면, G' 은 다음식으로 얻을 수 있다.

$$G' = G(T/T_0) - 1/\alpha \quad (9)$$

[그림 2]에 나타난 레터스의 예($\alpha = 4.17$)에서는, 시뮬레이션시간을 실제 수송시간의 1/5 - 1/10로 단축할 경우, 시뮬레이션시의 진동 가속도는, 시간규모가 같은 시뮬레이션시의 가속도 G의 1.5 - 1.7배를 필요로 한다.

3. 청과물의 수송손상에 관한 최근의 연구

3-1. 과체·과실의 호흡강도와 조직내 가스 조성

中村 팀은 진동이 토마토 및 가지, 사과, 배, 귤, 포도의 호흡강도에 미치는 영향과 함께 배와 토마토의 과실내 기체조성에 미치는 영향에 관해 검토한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.



과실을 상처나지 않도록 발포완충재 등으로 고정, 1.0(2.4Hz), 2.0(3.3Hz) 및 3.0(4.0Hz) G에서, 1시간 및 5시간 수평방향으로 진동처리해, 진동 중 및 진동 전후의 이산화탄소 배출속도를 측정했다.

그 결과, 일반적 경향으로서 진동개시 후 바로 호흡속도의 상승을 보이고, 진동 중은 계속 증가, 진동 완료 후도 잠깐은 계속 증가했다.

또 진동시간이 1시간인 경우에는 가속도가 큰 만큼 호흡 상승이 크지만, 진동시간이 5시간인 경우에는 가속도가 3G에서는 바뀌어 호흡 상승이 억제되었다.

여기에서, 과실은 진동자극에 대해 생리적으로 일정의 허용범위를 가지고, 그 이상으로 큰 진동자극이 더해지면 생리적 이상을 발생하는 것을 알 수 있었다.

진동에 대한 생리적 반응의 감수성은 품목에 따라 다르며, 가지와 사과에서는 감수성이 높고, 배, 귤, 포도에서는 감수성이 낮은 것을 알 수 있었다.

또 포도에서는 숙성도가 진행된 과실보다 덜 익은 과일에서 호흡 상승의 정도가 크다.

진동처리에 의해, 과실내의 이산화탄소 농도는 커지며, 산소 농도는 낮게 된다.

3-2. 껍질의 휘발성 물질

河野팀은 진동 및 낙하충격이 껍질의 맛에 미치는 영향에 관해서 검토하고 있다.

처리 후 과즙의 휘발성 성분을 가스크로마토그래프에 의해 측정해, 주성분 분석법을 이용해서 다음과 같은 결과를 얻고 있다.

낙하처리된 과실에서는, 과즙내에 에탄올, 아세트알데히드와 기타 몇 가지의 휘발성 성분이 축적된다.

진동처리의 경우도 마찬가지로 경향을 가리키지만, 영향의 정도는 낙하처리만큼 명확하지는 않다.

가스크로마토그래프의 6가지 피크를 이용해 주성분 분석을 행한 결과, 제1주성분과 제2주성분에 의한 산포도에 있어서, 낙하처리를 받은 과실은, 대조구, 진동구의 경우와 명확히 구별할 수 있었다.

낙하처리를 받은 과실 중 30회 처리된 것은, 10회, 20회 처리된 것과 비교해 휘발성 성분의 총량은 감소하고, 조성으로서는 상대적으로 에탄올에 대해 아세트알데히드가 증가한다.

3-3. 진동 및 온도가 딸기의 호흡과 품질에 미치는 영향

劉팀은, 250g팩에 들은 딸기(등급A, 계급 2L)를 0.5G로 1시간 진동처리해, 진동 중 및 그 전후의 호흡속도를 측정함과 동시에, 저장온도가 품질에 미치는 영향에 관해 검토하고 있다.

그 결과 진동처리 개시부터 30분간은 진동에 의한 호흡속도의 증가가 현저했지만, 그 후 호흡속도가 저하하기 시작해 안정화되어 가는 것이 밝혀졌다.

또 저장온도가 높은 만큼 딸기 외관의 악화, 호흡속도, 당도와 아스코르빈산의 감소, 경도의 저하가 현저하고, 진동에 의해 그 정도가 크게 되는 것을 알게 되었다.

多多良팀은, 실수송 중에 발생하는 진동이 호

흡속도 및 품질에 미치는 영향을 밝히기 위해, 고속도로의 실측진동데이터(10t트럭, 주행거리 428km, 주행시간 223분, 진동가속도범위 0.2-0.5G)에 기초해 진동시험 및 5℃와 15℃에 있어서의 저장시험을 행해, 다음과 같은 결과를 얻고 있다.

호흡속도가 진동자극에 비례해 상승한 것은 처리개시부터 1시간까지로, 그 후는 5℃에서는 상승을 보이지 않고, 15℃에서는 상승비율이 극히 완만했다.

진동 정지 후 약 1시간 진동 전과 거의 마찬가지로 호흡속도까지 저하했다.

진동처리와 저장시의 고온은, 외관품질의 저하와 과실의 貫入저항치의 저하를 촉진했지만, 가용성 고형분, 滴定酸度 및 총 비타민C 함량의 변화에는 영향을 미치지 않았다.

3-4. 진동 및 온도와 배의 품질 변화

劉팀은, 골판지상자에 넣은 배(등급 秀, 계급 2L)를 이용해, 실측진동데이터(적재중량 5.5t 트럭, 수송시간 약 12시간, 진동가속도 범위 0.2-0.5G, 메인 주파수 10-30Hz)에 기초해 진동시험(0, 10℃) 및 0, 10℃에 있어서 저장시험을 행해 다음과 같은 결과를 얻었다.

한편, 10℃의 경우는, 과실표면의 상처가 육안으로 인식할 수 있도록 되어, 상품가치가 떨어졌다.

저장온도의 높이 및 저장기간의 길이는 과실의 줄어들음을 크게 해, 경도, 함수율, 당도 및 산도를 저하시키는 영향이 있으며, 이들 변화는 진동을 받은 경우, 더욱 더 가속된다.

표피의 추열에 따른 붉은 기의 진행은, 진동에 의해 억제되고, 진동에 의해 생리활성에 어떤 장애가 발생한 것을 알수 있었다.

3-5. 진동이 브로콜리의 호흡에 미치는 영향

池田팀은 브로콜리가 수송 중(주행거리 15km, 주행속도 0-40km)에 받는 진동을 측정해, 이것을 실제의 수송에 상당하는 시간만 실험실에서 재현해, 진동이 브로콜리의 호흡 속도 및 내용성분에 미치는 영향을 조사한 결과, 다음과 같은 결과를 얻고 있다.

일반 도로를 1톤트럭으로 주행했을 때의 진동가속도는, 거의 0.5-1.5G에 있으며, 도로상황이 나쁜 부분에서는 2G를 넘는 진동가속도를 기록했다.

브로콜리의 호흡속도는 진동개시 후 20분간은 서서히 상승했지만, 그 후는 진동을 정지하기까지 거의 일정했다. 또 진동 정지 후는 약 1시간으로 진동 개시 전의 호흡속도로 까지 저하했다.

진동에 의한 호흡속도의 상승 정도는, 온도에 관계되지 않고 거의 같았다.

10시간 가진처리한 경우라도, 또 실제로 트럭 수송한 경우라도, 전당 함량, 아스코르빈산 함량, 클로로필 함량, 줄기강도 및 종합산도에 미치는 진동의 영향은 확인되지 않았다. ㉔

신제품 및 업체 소개
월간 포장계 편집실
(02)835-9041