

진동 및 충격조건에 대한 완충재별 완충성능 분석

오재영[†]

한국생활환경시험연구원

Cushioning Performance Analysis of Cushioning Materials for Vibration and Impact Condition

Jae Young Oh[†]

Korea Environment & Merchandise Testing Institute

Abstract The impact absorption materials made of synthetic organic chemical product like Expanded Polystyrene(EPS), Expanded Polyethylene(EPE), Expanded Polyurethane(EPU), etc. have been used with general packaging material until the present. But nowadays, the use of these materials is intended to be decreased and to be recycled in connection with environmental pollution. In addition, it has been tried to substitute these materials with non-pollution materials(natural materials) like pulp mould, paper protectors, etc. At the same time, it is required to evaluate and analyze these cushioning materials for cushioning properties based on impact and vibration, in order to make an efficiency on the overall packaging system because they are generally being used by a random choice regardless of the properties of contents and cushioning materials. Therefore, this study provides analyzed data on cushioning properties of various cushioning materials against impact and vibration, and is intended to provide more efficient model for packaging system by minimizing their using amount through choosing an optimal cushioning material as well as intended to lead to the use of non-pollution materials in case these cushioning materials have same cushioning properties.

Keywords Cushioning properties, Cushioning materials for packaging, Impact absorption, Vibration of packages

서론

생산 제품의 다양성과 더불어 이들 제품의 유통시 안전성과 관련하여 많은 포장 재료 및 포장 방법들이 개발되어져 왔으며, 나아가 물류비의 절감이나 물류 합리화, 자원 절약 등의 측면에서 포장시스템의 설계가 이루어져 왔다. 그러한 포장 완충재 중에서도 EPS(발포폴리스티렌), EPE(발포폴리에틸렌), EPU(발포폴리우레탄)와 같은 합성 유기화학 제품들이 지배적 위치를 차지해 왔으나 환경문제와 병행하여 포장 설계시 이러한 재료 사용의 최소화 및 재활용을 지향하고 있으며, 최근에는 Corrugated Pad, Honeycomb과 같은 지류 포장 완충재나 전분 완충재와 같은 환경 친화적 포장 재료로의 대체를 시도해 오고 있다.

이에 따라 다양한 포장 완충 재료들이 등장하고, 실제 유

통 상에 사용되기도 하지만 대부분의 경우, 그 사용에 있어서 내용물 및 완충재의 특성에 관계없이 임의의 재질을 선택하여 제품이 파손되지 않을 만큼 두께나 면적에 있어 그 사용량을 늘이는 것이 일반적이다. 그러나 과연 그 재질이 “다른 재질의 완충재에 비해 제품의 보호에 가장 적합한가, 사용량은 적당한가, 비용은 적절한가?” 등과 같은 효율성에 대해 간과할 수 없다. 따라서 전반적인 포장시스템의 효율화를 위해, 여러 재질의 완충재들 간의 충격이나 진동에 근거한 완충성능의 비교 평가 및 분석에 대한 필요성을 공감할 수 있다.^{1,2,3,4,5)} 이러한 포장 완충재와 관련하여, EPS(발포폴리스티렌)나 Corrugated Pad와 같은 몇몇 대표적인 완충재에 대해서는 그 발포배율이나 골심지의 골 형태 등에 따른 충격완충성능에 대한 평가 및 연구가 개별적으로 이루어져 왔으나, 여러 완충재들 간의 충격이나 진동, 온습도에 따른 물리적 특성이 상호 비교 분석된 자료를 찾기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 다양한 포장 완충재들 간의 충격이나 진동에 대한 물리적 완충 특성을 비교 분석한 자료를 제공함으로써 부하에 따른 최적 완충재를 선택하고, 그 사

[†]Corresponding Author : Jae Young Oh
Korea Environment & Merchandise Testing Institute, 459-28,
Gasam-dong, Gumi-si, Gyeongju, 153-803 Korea
E-mail : <jyoungoh@kemt.org>

용량을 최소화하여 재료비를 절감시키고, 이에 따른 포장물의 부피 축소로부터 물류비용을 절감시킴과 동시에, 동일한 완충성능의 완충재에 대하여 환경 친화적 포장 재료의 사용을 유도하는 등 포장시스템 전반에 걸쳐 보다 효율적인 모델을 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서 공시된 재료는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 상용 완충재료 5종이며, 이들 재료의 완충성능을 상호 비교하기 위하여 두께를 51 mm로 통일하였다. Corrugated Pad 완충재는 A골 양면골판지 10겹으로 구성되었고, Honeycomb 완충재는 공극밀도(Pore density)가 76 pore/100 cm²이며, EPS(Expanded Polystyrene), EPE(Expanded Polyethylene) 및 EPU(Expanded Polyurethane) 완충재의 밀도는 각각 15 kg/m³, 20 kg/m³, 40 kg/m³이었다.

2. 완충성능 실험방법

2.1. 전처리

(1) 표준대기 조건

실험 재료의 온습도의 영향을 최소화하기 위해 KS M ISO 187에 규정된 표준 대기 조건(23 ± 1°C, 50 ± 3% RH)에서 72 hr 동안 전처리한 후(ISTA Test Procedure 2A, 2007), 진동 및 충격실험을 수행하였다.

(2) 고온다습 조건(Tropical Condition)

온습도 변화에 민감한 지류 완충재의 완충성능 변화를 확인하기위해 지류 완충재를 고온 다습 조건(38 ± 1°C, 85 ± 5% RH)에서 72 hr동안 전처리한 후(ISTA Test Procedure 2A, 2007), 충격실험을 수행하였다.

2.2. 진동실험^{9,10,12)}

특정 무게를 가진 Steel Plate에 응답용 가속도 센서를 부착하고, 해당 실험재료로써 Steel Plate의 상면 및 하면을 고정하여 포장상자에 넣고, Table 1의 진동실험조건(KS R 1034)으로 진동을 가하여 완충재의 탄성에 따른 공진 진동수 및 그 시점에서 발생하는 최대 가속도를 측정하였다(Fig. 2).

Table 1. Conditions for vibration experiments

Experiment Factors	Conditions
Weight	98, 196, 294 N
Atmospheric conditions	Standard condition (23 ± 1, 50 ± 3% RH, 72 hr)
Vibrational direction	Vertical
Frequency Range	1-5 Hz 5-200 Hz
Displacement (peak to peak)	20 mm (1-5 Hz) Not available (5-200 Hz)
Acceleration	Not available (1-5 Hz) 9.8 m/s ² (5-200 Hz)
Sweep Rate	1.0 octave/min

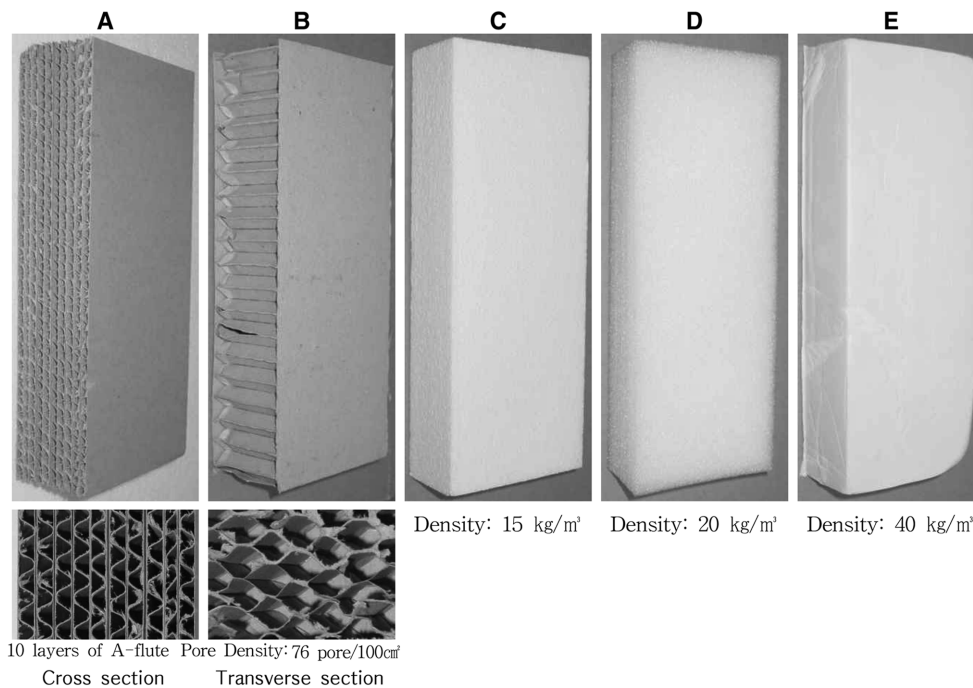


Fig. 1. Cushioning Materials used for the experiments of cushioning properties, 51 mm of thickness : Corrugated Pad type (A) ; Honeycomb type (B) ; EPS type (C) ; EPE type (D) ; EPU type (E).

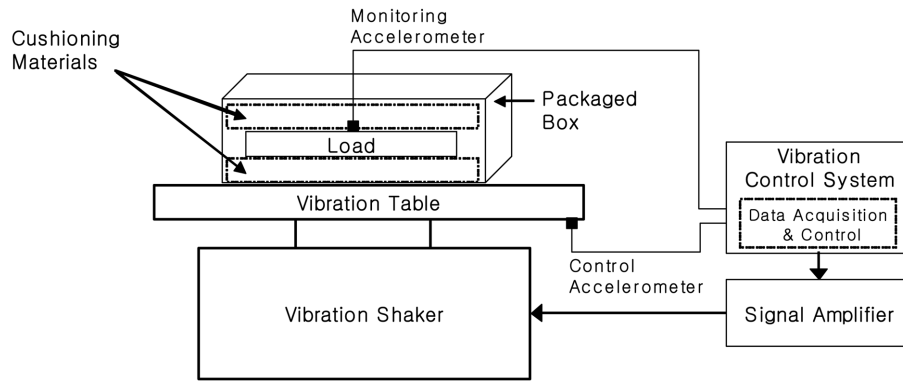


Fig. 2. Schematic diagram for performing vibration experiments.

2.3. 충격실험^{1,3,7,13,14,15)}

특정 무게를 가진 Steel Plate에 가속도 센서를 부착하고, 특정한 높이(ISTA, 2008)에서 정해진 면적과 두께를 가진 완충재(Test Block) 상에 자유 낙하시켜 충격가속도를 계측하였다(Fig. 3). 실험조건은 Table 2와 같으며, 각 Plate에 대해 3회씩 실험하여 계측된 데이터의 평균값을 완충곡선을 구하는 데에 사용하였으며, 매 측정시마다 새로운 실험

재료를 사용하였다.

3. 측정장비

전처리를 위해 향온향습기(PL-4KPH, ESPEC, Japan), 충격실험을 위해 Precision Drop Tester(PDT-227, Lansmont, USA), FFT Analyzer(TP3, Lansmont, USA) 및 Accelerometer(353B34/353B18, PCB Piezotronics, USA), 진동실험을 위해 Vibration Test System(CV-700, IMV, Japan)와 Accelerometer(VP-31/VP-02S, IMV, Japan)가 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 진동실험 결과

Fig. 4에서 EPU type 완충재를 제외한 나머지 재료들은 부하가 증가함에 따라 공진 진동수가 낮아짐을 확인할 수 있는데, 이는 이러한 완충재료들이 스프링의 고유 진동수(w_n)와 강성(Stiffness, k) 및 질량(m)의 상관관계를 나타내는 다음의 일반식에 부합되는 탄성거동을 따름을 실험적으

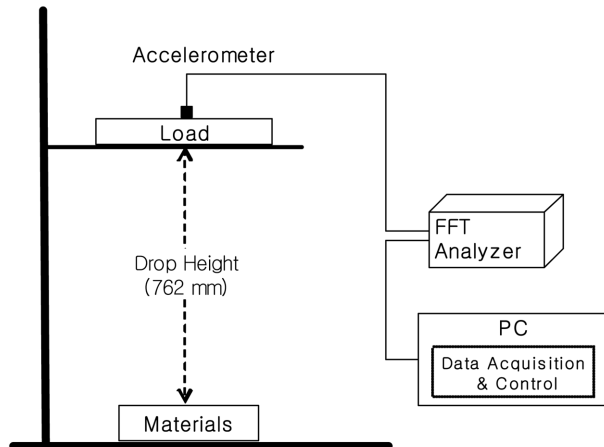


Fig. 3. Schematic diagram for performing impact experiments.

Table 2. Conditions for impact experiments.

Experiment Factors	Conditions
Weight	49, 98, 196, 294 N
Drop Height	762 mm
Atmospheric conditions	Standard condition (23 ± 1 , $50 \pm 3\%$ RH, 72 hr) Tropical condition (38 ± 1 , $85 \pm 5\%$ RH, 72 hr)
Thickness of specimen	51 mm
Size of specimen	250×100 mm

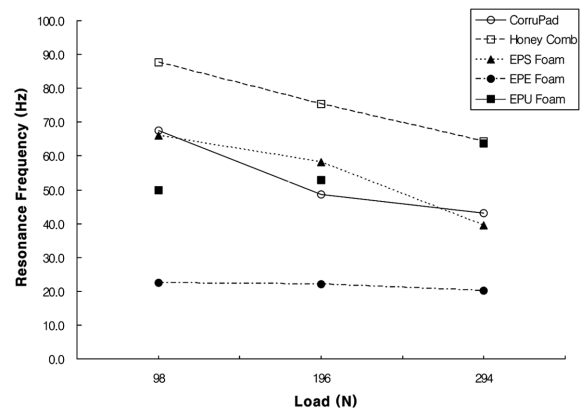


Fig. 4. The change of resonance frequency according to the load, measured from vibration experiment after preconditioning at standard atmospheric condition($23 \pm 1^\circ\text{C}$, $50 \pm 3\%$ RH, 72 hr).

로 확인할 수 있다.

Fig. 4 및 Fig. 5의 진동실험 결과로부터, 포장 내용물의 무게 및 운송 화물이 받는 상용 진동수 범위에 따라 적합한 완충재료를 확인할 수 있다. 즉, Jung 등⁵⁾이 연구한 차량에 의한 국내 농산물 유통경로의 진동특성에서 운송 화물의 주요 진동수 분포 대역이 20~40 Hz이므로, 우선 완충재가 가지는 공진 진동수가 이 진동수 범위에 있지 않는 완충재를 선택하고(Fig. 4), 그 다음에 공진 진동수에서의 진동 가속도값이 최저(Fig. 5)인 완충재가 완충성능이 가장 우수한 재료이다. 따라서 Table 3에 그 결과를 나타내었으며, EPS Foam의 경우 모든 하중영역에서 우수한 완충능력을 보여주었다.

2. 충격실험 결과

주어진 조건에서의 충격실험 결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. EPS Foam의 경우 진동실험에 이어 충격실험에서도 모든 부하에 대하여 전반적으로 양호한 완충성능을 보여주었다. 반면, CorruPad 완충재의 경우에는 표준대기조건에서 전반적으로 충격가속도값이 높게 측정되어 완충성능이 좋지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 CorruPad type이 Honeycomb이나 EPS 등 다른 완충재에 비해 물결모양의 조밀한 골을 가진 단단한 구조이므로 충격흡수시간이 비교적 짧고 상대적으로 완충성능이 좋지 못함을 Fig. 8을 통해 확인할 수 있다. 또한 49 N의 가벼운 하중이 작용될 때 CorruPad는 충격을 한 번에 그대로 흡수하고 있으나(Fig. 8.

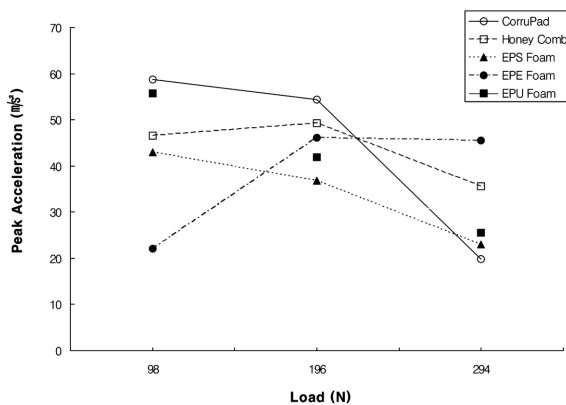


Fig. 5. Maximum accelerations at resonance frequency according to the load.

Table 3. Excellent cushioning materials according to the loads, measured from vibration experiments.

Load (N)	90	196	294
Cushioning materials	EPS Foam, Honeycomb, CorruPad	EPS Foam, EPU Foam, Honeycomb	CorruPad, EPS Foam, EPU Foam

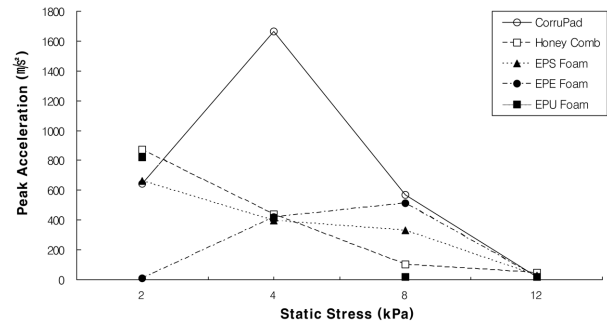


Fig. 6. The change of accelerations according to the static stress, measured from impact experiment after preconditioning at standard atmospheric condition ($23\pm1^{\circ}\text{C}$, $50\pm3\%$ RH, 72 hr).

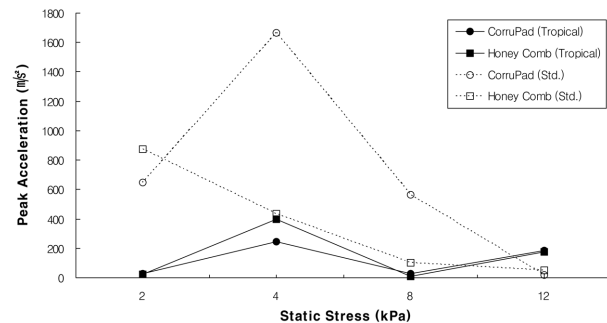


Fig. 7. The change of accelerations according to the static stress, measured from impact experiment after preconditioning at tropical atmospheric condition ($38\pm1^{\circ}\text{C}$, $85\pm5\%$ RH, 72hrs) and it also shows the change of accelerations compared to that of standard atmospheric condition ($23\pm1^{\circ}\text{C}$, $50\pm3\%$ RH, 72 hr) at the same time.

A), 196 N의 경우는 골의 붕괴를 통해 완충작용이 이루어지고 있으며 그 만큼 충격흡수시간이 길어짐을 확인할 수 있었다(Fig. 8. B). 따라서 CorruPad type 경우 완충성능은 우수하지 않지만, 제품이 단단하고 충격시 변형이 되어서는 안 되는 중량물의 포장에는 적합할 것으로 사료된다.

지류 완충재들은 Fig. 7에서 보여지는 바와 같이 온습도에 영향을 따라 충격흡수성능이 민감한 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 즉, 고온고습조건에서는 재질이 종이류이므로 수분을 함유함에 따라 재질이 부드러워지고(Soft), 변형이 용이해지므로 충격값이 낮아지지만, 중량물에 대해서는 그 성능이 급격히 저하되었다.²⁾

진동실험에서 얻은 Table 3의 결과를 바탕으로 Fig. 6의 충격실험 결과를 조합하면, 중량에 따라 충격 완충성능이 가장 우수하고 제품의 특성에 적합한 포장 완충재를 선택할 수 있다. 즉, Table 3에서 중량별 가장 우수한 완충성능의 완충재를 선택한 후, Fig. 6에서 그 중량에서의 충격가속도값이 최저인 완충재를 선택함으로써 진동 및 충격에 대한 완충성능을 최대화할 수 있다.

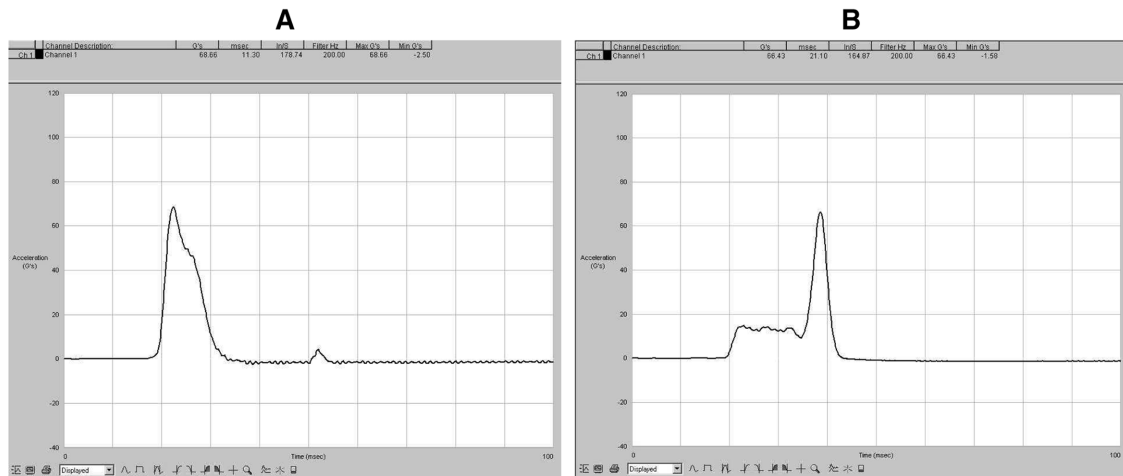


Fig. 8. Acceleration graph for CorruPad with 49 N (A) and 196 N (B) weight.

따라서, 상기 충격 및 진동실험 결과를 통해 완충재의 재질별 충격 및 진동에 따른 완충성능에 대하여 다음과 같이 요약할 수 있다.

2.1 Corrugated Pad Type

중량이 294 N 이상이고, 정적응력이 12 kPa 이상의 부하에서 충격완충성능이 양호하고, 공진 진동수에서도 저레벨의 진동가속도를 보이므로, 그러한 제품의 완충재로 적합하다. 단, 충격흡수시간이 비교적 짧고 구조가 단단하여 제품의 유동을 허용하지 않기 때문에 무겁고 단단한 제품의 포장에 있어서, 고정재결 완충재로서의 사용에 적합하다.

2.2 Honeycomb Type

중량이 98 N 이상이고, 정적응력이 4 kPa 이상의 부하에서 충격완충성능이 양호하고, 공진 진동수에서도 저레벨의 진동가속도를 보이므로, 그러한 제품의 완충재로 적합하다.

2.3 EPS(Expanded Polystyrene) Foam Type

다른 재질의 완충재들과 비교하여, 모든 정적부하 및 정적응력의 범위에서 양호한 충격흡수성능 및 공진 진동수에서도 저레벨의 진동가속도를 보이므로, 중량에 관계없이 일반적인 제품의 포장 완충재로 적합하다.

2.4 EPE(Expanded Polyethylene) Foam Type

중량이 196 N 이하이고, 정적응력이 4 kPa 이하의 부하에서 충격완충성능이 양호하고, 공진 진동수에서도 저레벨의 진동가속도를 보이므로, 그러한 제품의 완충재로 적합하다. 단, 중량 및 정적응력의 부하가 높아질수록 탄성이 커지므로 변형이 불가한 제품에 대해서는 부적합하다.

2.5 EPU(Expanded Polyurethane) Foam Type

중량이 196 N 이상이고, 정적응력이 4 kPa 이상의 부하에서 충격완충성능이 양호하고, 공진 진동수에서도 저레벨의 진동가속도를 보이므로, 그러한 제품의 완충재로 적합하다.

결론

- 1) 지류 완충재들의 완충성능은 온습도 변화에 매우 민감하며, 충격 후 복원성이 거의 없으므로 반복 충격에 대하여는 매우 취약하였다. 그러나 CorruPad의 경우, 충격흡수시간이 비교적 짧고 구조가 단단하여 제품의 유동을 허용하지 않기 때문에 무겁고 단단한 제품을 포장할 때, 고정재결 완충재로 사용할 수 있다.
- 2) 합성 유기화합성분의 플라스틱 완충재들(EPS, EPE, EPU)은 온습도 변화에 덜 민감하고, 복원성 및 탄성이 우수하므로 반복 충격에 대하여 양호한 완충성능을 유지한다. 특히, EPS Foam 완충재는 진동 및 충격에 대한 우수한 완충성능을 보였으며, 일반적인 완충재로 가장 적합한 재료임을 확인할 수 있었다. 그러나 폐기물로서의 환경부하의 원인이 되는 약점이 있으므로 재활용 기술 및 재활용을 증가 방안에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- 3) 결론적으로, 완충재의 재질별 진동 및 충격에 대한 완충특성을 비교 분석함으로써 포장 내용물의 특성 및 용도에 따라 최적의 완충성능을 발휘하는 재료를 선택할 수 있었다. 이에 따라 제품에 따른 최적의 완충성능을 가진 완충재를 사용함으로써 사용량을 줄이고, 적재 공간을 늘여 물류비용을 절감시킬 수 있을 것이다. 또한 동일한 비용과 성능의 완충재라면,

보다 환경 친화적인 재료를 사용하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구를 위해 실험재료를 제공해 주신 (주)동진판지, (주)제일산업, 화산수출포장, 아이진수출포장, (주)실드에어코리아에 감사를 전합니다.

참고문헌

1. M. S. Kim, H. M. Jung, J. M. Park, Y. H. Lee. 2001. Development of Measuring System for Cushioning Properties of Package Cushioning Materials. Proceeding of Winter Conference of Korean Society of Agricultural Machinery : pp. 280-285.
2. M. S. Kim, H. M. Jung, J. M. Park, Y. H. Lee. 2001. Cushioning Properties of Package Cushioning Materials. Proceeding of Summer Conference of Korean Society of Agricultural Machinery : pp. 167-172.
3. J. M. Park , S. G. Kwon , S. H. Eam , M. S. Kim. 1998. Design of measuring system of cushioning performance for packaging materials. Korean Soc. for Food Eng. 2(2) : pp. 123-128.
4. J. M. Park , M. S. Kim. 1998. Cushioning Properties Analysis for Packaging Materials - corrugated fiberboard. Korean Soc. for Food Eng. 2(2) : pp. 129-136.
5. H. M. Jung, M. S. Kim, G. S. Kim, B. K. Cho, D. Y. Kim. 2006. Analysis for vibration characteristics of the watermelon for optimum packaging design in domestic distribution. J. Korea Soc. Packag. Sci. & Tech. 12(2): pp. 97-102.
6. KS M ISO 187. Paper, board and pulps-Standard atmosphere for conditioning and testing and procedure for monitoring the atmosphere and conditioning of samples.
7. KS A 1029. Testing methods of dynamic compression for package cushioning materials.
8. KS A 1030. Testing methods of static compression for package cushioning materials.
9. KS A ISO 8318. Packaging - Complete, filled transport packages and unit loads - Sinusoidal vibration tests using a variable frequency.
10. KS R 1034. Vibration testing methods for automobile parts.
11. Asvanit, P. 1988. On the effect of moisture content on the shock transmissibility properties of honeycomb cushioning. M.S. thesis, School of Packaging, Michigan State Univ., East Lansing, MI, USA.
12. ASTM Standard D 3580. Standard Test Methods for Vibration (Vertical Linear Motion) Test of Product.
13. ASTM Standard D 1596. Standard Test Method for Dynamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material.
14. Marcondes, J. A. Waldeck, G. Burgess and S. P. Singh. 1990. Application of high-speed motion analysis to measure shock in cushioned drops. Packaging Technology and Science 3 : pp. 51-55.
15. Marcondes, J. A. 1992. Cushioning properties of corrugated fiberboard and the effects of moisture content. Trans. of the ASAE 35(6) : pp. 1949-1953.
16. Test Procedure 2A, International Safe Transit Association(ISTA) Resource Book 2008.