골판지상자의 압축강도

남병화/한국포장시스템연구소 상임 연구위원·포장기술사

1. 서론

골판지상자의 기본강도는 파열강도와 압축강도이다. 파열강도는 상자를 구성하는 골판지를 뚫어보는 강도로써 지금까지 골판지 품질기준 제정에 적용하여 왔으며 한국산업규격(KS)에도 공식적으로 명기되어 있다. 골판지상자에서의 파열강도는 중요한 의미를 갖는다. Bolt 또는 Nut와 같이 비중이 큰 제품은 상자의 찢어짐만 없으면, 즉 파열강도만 좋으면 포장의 역할을 다하기 때문이다. 이와같이 내용물 자체가 자립성이 있는 제품에는 가장 중요한 강도가 파열강도인 것이다.

그러나 우리주변의 제품중 상기와 같은 것은 불과 10%이내다. 90%이상의 제품이 눌리면 파손될 수 있는 비자립성 제품인 것이다. 따라서 골판지상자중 90%이상이 상자의 압축강도가 필요하게 되는 것이며 포장관련업체 및 전문가들이 가장 싼 비용투입으로 최대 압축강도를 갖는 방법연구에 심혈을 기울이고 있는 것이다.

골판지상자에서 압축강도의 중요성 인식은 전세계가 공통적으로 공감함에 따라 미국의 Rule 41에서도 Edge Cruch Strength를 개정, 보강하고 있으며 일본에서도 JIS 골판지 규격을 점차적으로 저파강에 고압강화 되도록 연구 개정되고 있다. 국내에서도 많은 포장전문가가 골판지원지의 압축강도(Ring Crush), 골판지의 수직압축강도(Edge Crush), 골판지상자의 압축강도(Box Compression Strength)의 비례관계를 주변장에 따라 간편하게 압축강도를 찾을 수 있는 방법을 연구중에 있다(그림1 참조).

골판지상자의 압축강도가 유통과정에서 가장 필요하다는 인식을 하면서도 압축강도에 대하여는 규격화되어 있지 않다. 왜냐하면 상자의 압축강도에 미치는 요인이 〈그림2〉에서와 같이 상당히 많기 때문에 파열강도의 기준처럼 간단히 규격화하기가 어렵기 때문이다.

골판지상자 압축강도에 관한 연구는 국내외에서 많은 포장전문가에 의해 연구된바 있다.

연구대상이 너무 광범위하기 때문에 정확하게 상자 압축강도를 이론적으로 산출하기 어렵지만 지금까지 발표된 연구결과 중 가장 신뢰성이 있는 Kellicutt식과 ASTM을 중심으로 압축강도 계산에 대하여 기술코자 한다.

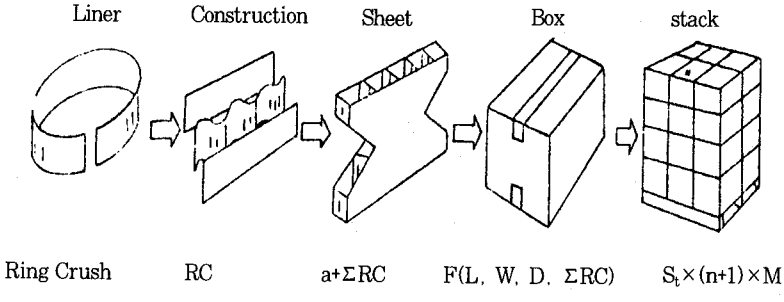
2. 골판지상자 압축강도의 이론

골판지상자의 압축강도를 구성하고 있는 요소를 정리하면 다음과 같다.

다음으로 골판지상자를 제작할때의 고려되는 변동요소는 다음과 같다.

변동요소중에서 상자치수와 장,

〔그림1〕 원지부터 상자까지의 압축강도 개념도



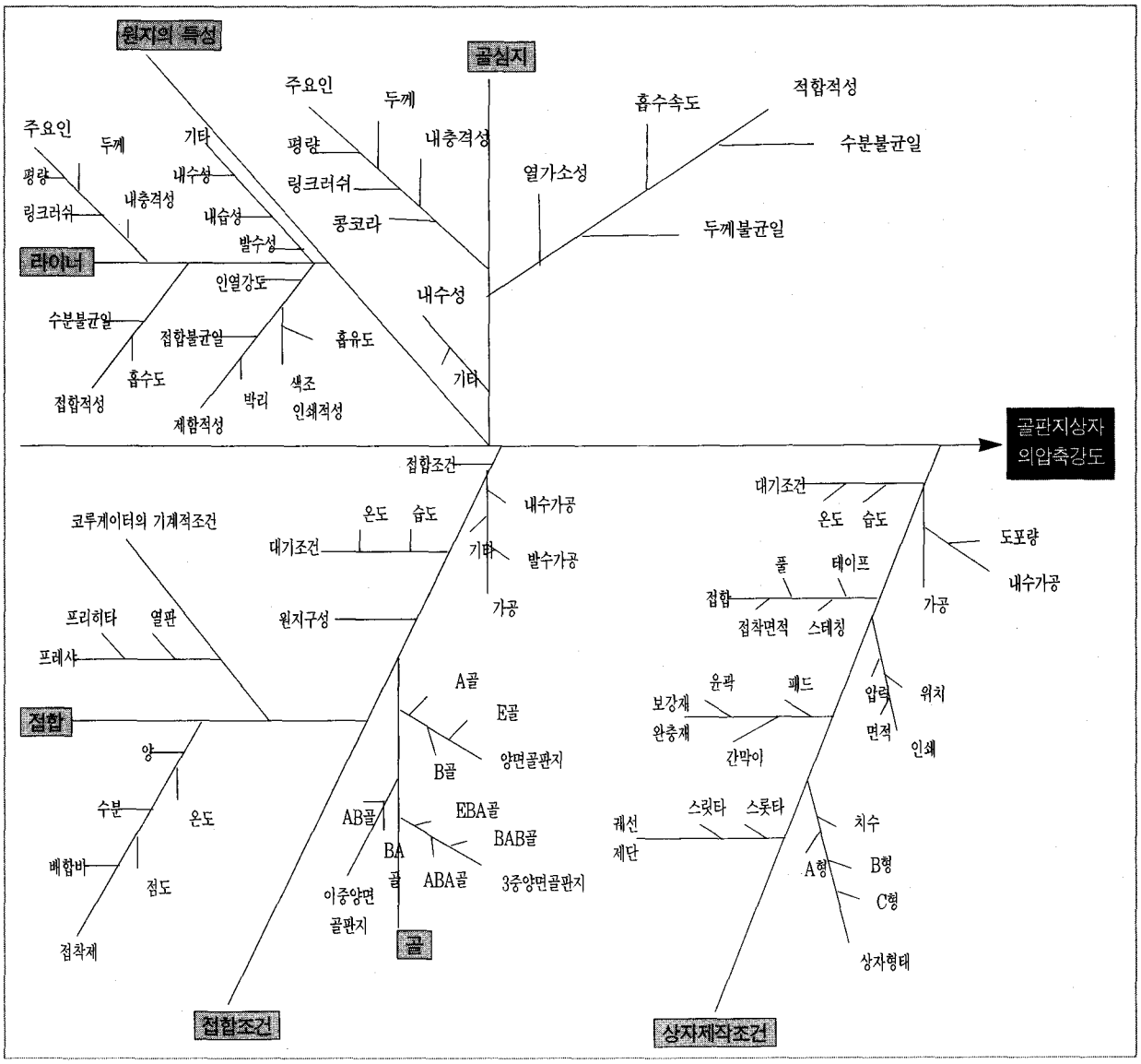
폭비 및 인쇄면적과 디자인은 사용자에게 검토를 요하는 문제이고 기타요소는 골판지 제조의 문제로 해결되어야 한다.

- 기본요소
  - 원지의 압축강도 (Ring Crush치)
  - 골의종류 (A, B, C 골)
  - 골판지의 종류 (양면, 이중양면)
  - 골판지의 함수률
- 변동요소
  - 상자치수와 장, 폭비
  - 인쇄면적과 디자인
  - 상자 제조기술의 차이
  - 상자 제작기계의 차이
  - 품질관리의 차이

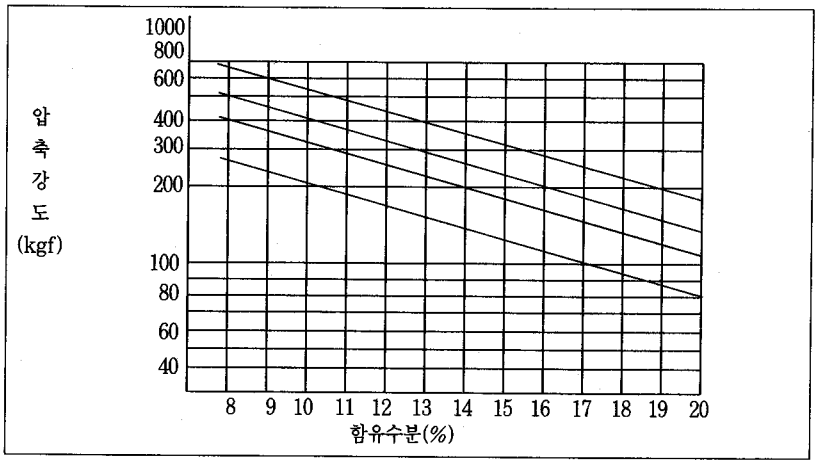
3. 유통과정중의 열화

골판지상자 포장화물이 유통과정중에 어떤 요인으로 열화되는지 생각해 보면 습도에 의한 열화, 경시변화에 대한 열화, 적재방법 열화, 수송조건에 따른 열화, 하역에 대한 열화라고 할 수 있으며 세부적으로 기술하면 다음과 같다.

〔그림2〕 골판지 상자 압축강도의 특성요인



〔그림3〕 함유수분과 압축강도



3-1. 습도에 의한 열화

골판지가 종이로 만들어지는 이상 공기중의 습도를 흡수하고 배출하는 성질을 갖고 있어 이것이 골판지상자의 압축강도에 영향을 준다. 특히 장마철인 여름철에는 상대습도가 상승하는데 유의하여야 한다. 〈그림3〉은 골판지상자의 함유수분과 골판지상자의 압축강도와의 관계를 실험적으로 조사한 것이다. 또한 〔표1〕은 습도에 대한 열화지수이다. 골판지상자의 압축강도와 함유수분과의 관계는 다음식으로 표기할수 있다.

$P = a \times 0.9^{X}$

여기서

P : 골판지상자의 압축강도(kgf)

a : 함유수분 0일 때의 압축강도(kgf)

x : 골판지상자의 함유수분(%)

따라서 이 관계식은 어떤 함유수분의 경우의 상자 압축강도도 계산에 의해 구할 수 있다.

예를 들면 어떤 상자의 압축강도를 측정하였더니 235kgf이었고 그때의 함유수분이 13%이었다면 함유수분 10%경우의 압축강도는 다음과 같이 계산된다.

$P = a \times 0.9^{X}$ 관계에서 $a = P/0.9^{X}$ 이므로

$a = 235/0.9^{13} = 235/0.9^{13} = 235/0.254$

$= 925.2$(kgf)가 된다.

함유수분 10%의 경우 압축강도는 $P = 925.2 \times 0.9^{10} = 925.2 \times 0.349 = 322.9$(kgf)가 되어 큰 차이가 생긴다. 이 관계를 〈그림3〉에서도 알수 있다. 또한 〔표1〕은 관계습도에 대한 열화지수를 표기한 것이다. 이 표에 의해 골판지상자의 압축강도를 비교할때는 함유수분을 일정하게 하여야 한다.

3-2. 경시변화에 대한 열화

경시변화에 대한 열화는 적재상태로 보관될때 시간과 같이 종이질이

〔표1〕 습도에 대한 열화지수

습도RH(%)	압축강도의 열화(%)
건조	100
25	90
50	80
75	65
85	50
90	40

〔표2〕 적재기간에 대한 피로지수

기간	압축강도(%)
단기간	100
10일	65
30일	60
100일	55
1년	50

〔표3〕 안전계수 F치 배수표

내용물 구조	F factor보증레벨 Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
1. 골판지 판지 혹은 플라스틱용기로서 이러한 재료로 내부 완충을 하고 있는지 또는 하고 있지 않는 구조, 제품자체가 압축하중을 버텨주지 못하는 구조.	8.0	4.5	3.0
2. 골판지, 판지 또는 플라스틱 용기로서 나무와 같은 강성이 있는 재료로 내부 보강이 되어있는 구조.	4.5	3.0	2.0
3. 온·습도에 민감하지 않고 제품에 직접 압축하중이 가해져도 좋은 골판지, 판지 또는 플라스틱 이외의 재질로 만든 용기.	3.0	2.0	1.5
4. 제품이 압축하중의 일정부분을 지지하고 있는 경우 F치는 다음과 같이 계산된다. F=P(Fp)+C(Fc)			

여기서

Fp=압축포장에 대해 주어진 F치(구조형태 3)

P=제품에 의해 지지되는 압축하중 %

Fc=적정용기에 대하여 주어진 F치

C=용기에 의해 지지되는 하중 %

단) • 만약에 펠리트 화물인 경우의 F치는 30% 줄일 수 있다.

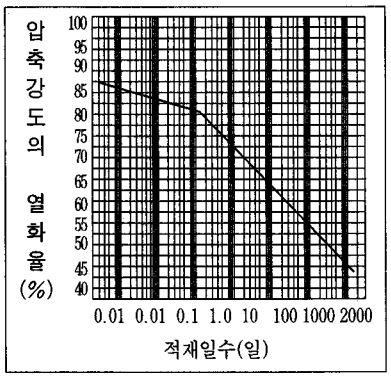
• 보증레벨은 대표적 유통사이클에 있어서 발생되는 확률에 기초한 시험강도의 수준.

레벨 Ⅰ은 시험강도가 높은 레벨로써 발생확률이 낮음

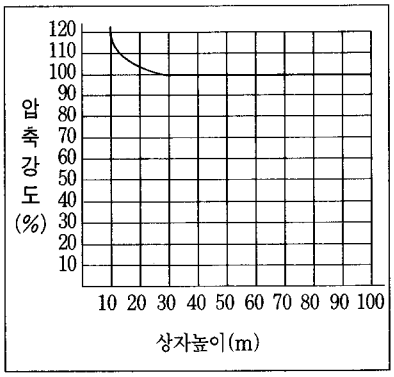
레벨Ⅲ은 시험강도가 낮은 레벨로써 상대적으로 높은 확률있음

레벨Ⅱ는 상기 양레벨의 중간임

〔그림4〕 적재일수와 압축강도



〔그림5〕 상자의 높이와 압축강도



피로하여 열화됨을 말한다.

〈그림4〉 및 〔표2〕는 열화비율을 표시한 것이다.

3-3. 기타열화

〈그림5〉는 상자의 높이와 압축강도의 관계를 그림으로 표시한 것이지만 높이 25cm이하의 경우는 점점 강해지지만 25cm이상이 되면 강도 변화가 없음을 주목하여야 한다.

〈그림6〉은 상자의 길이와 폭의 비율에 대한 압축강도 변화를 표시하였는데 장, 폭비가 1.2~1.5일때가 가장 크며 그 전후에서는 떨어진다.

이 관계는 상자의 치수를 결정하는데 실질적으로 고려할 것이다.

〈그림7〉은 적재방법과 압축강도의 관계를 표기한 것이다. 이것은 골판지상자의 압축강도는 4개의 코너에서 주로 힘을 받게 되므로 적재방법에 따른 변화하는 경우를 표시한 것으로 적재시에 주의를 요하는 부분이다.

기타 인쇄에 대한 열화가 있지만 골의 찌그러짐을 최소화하는 인쇄기술의 발달에 따라 그 열화비율은 약간의 영향을 줄 뿐이다.

4. 골판지상자의 필요 압축강도

골판지상자의 필요한 압축강도를 결정하는 기본적인 방법은 일반적으로 다음 식이 이용된다.

$$P=WF\left(\frac{H}{h}-1\right)$$

여기서

P : 골판지상자의 필요 압축강도(kgf)

W: 골판지상자 포함 질량(kg)

F : 안전계수

H : 적재한 높이(cm)

h : 골판지상자의 높이(cm)

이 경우의 안전계수 F는 전항의 변동요소 및 유통과정의 제반요소를 고려하여 결정하여야 하는데 ASTM D4169(Performance Testing of Shipping Containers)에서는 〔표3〕과 같이 안전계수 F치를 1.5~8배로 규정하고 있다.

5. 골판지상자의 압축강도 계산식

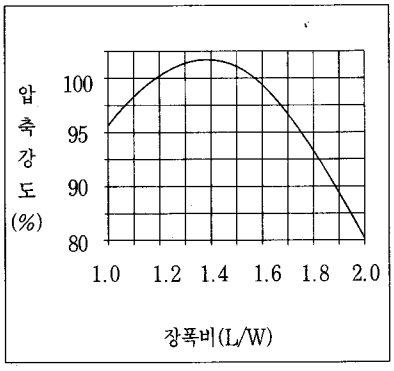
3항의 P(필요 압축강도)를 산출하기 위하여는 골판지의 종류 또는 재질의 등급을 필요에 따라 변경하여야 한다. 이미 구미에서는 골판지상자의 압축강도를 계산에 의해 구하는 식이 발표되어 적용되고 있는데 가장 압축강도에 필요한 제반인자를 적용한 Kellicut 계산식을 기초로 기술하고자 한다. Kellicut식은 Q. Kellicut씨가 발표한 것으로 다른 식과 비교해 가장 실제 측정치에 가까워 국내업계에서 많이 적용하고 있는 식이다.

Kellicut식에 의한 압축강도 계산식은

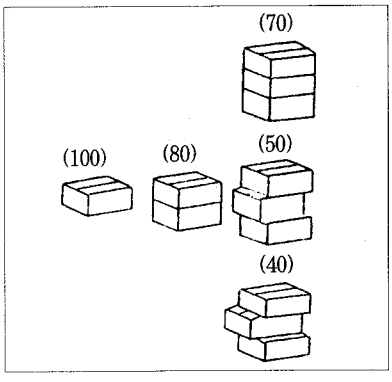
$$P = P\times[Ax^2/(Z/4)]^{1/3}\,JZ \cdots\cdots(1)$$

여기서 P : 상자의 압축강도(lb)

〔그림6〕 상자의 장, 폭비와 압축강도



〔그림7〕 적재방법과 압축강도



〔표4〕 골판지 상자의 주변장과 골의 종류에 대한 계수(F)

주변장	AB골	A골	B골	C골	주변장	AB골	A골	B골	C골
70	3.93	3.08	2.52	2.88	190	5.48	4.30	3.52	4.02
75	4.02	3.15	2.58	2.95	195	5.53	4.34	3.55	4.05
80	4.11	3.22	2.64	3.01	200	5.57	4.37	3.58	4.09
85	4.19	3.29	2.69	3.07	205	5.62	4.41	3.61	4.12
90	4.27	3.35	2.74	3.13	210	5.66	4.45	3.64	4.15
95	4.35	3.41	2.79	3.19	215	5.71	4.48	3.67	4.19
100	4.42	3.47	2.84	3.24	220	5.75	4.52	3.69	4.22
105	4.50	3.53	2.89	3.30	225	5.80	4.55	3.72	4.25
110	4.57	3.58	2.93	3.35	230	5.84	4.58	3.75	4.28
115	4.63	3.64	2.98	3.40	235	5.88	4.62	3.78	4.31
120	4.70	3.69	3.02	3.45	240	5.92	4.65	3.80	4.34
125	4.77	3.74	3.06	3.50	245	5.96	4.68	3.83	4.37
130	4.83	3.79	3.10	3.54	250	6.00	4.71	3.86	4.40
135	4.89	3.84	3.14	3.59	255	6.04	4.74	3.88	4.43
140	4.95	3.88	3.18	3.63	260	6.08	4.77	3.91	4.46
145	5.01	3.93	3.22	3.67	265	6.12	4.80	3.93	4.49
150	5.06	3.97	3.25	3.71	270	6.16	4.83	3.96	4.52
155	5.12	4.02	3.29	3.75	275	6.20	4.86	3.98	4.55
160	5.17	4.06	3.32	3.79	280	6.23	4.89	4.00	4.57
165	5.23	4.10	3.36	3.83	285	6.27	4.92	4.03	4.60
170	5.28	4.14	3.39	3.87	290	6.31	4.95	4.05	4.63
175	5.33	4.18	3.42	3.91	295	6.34	4.98	4.07	4.65
180	5.38	4.22	3.46	3.95	300	6.38	5.01	4.10	4.68
185	5.43	4.26	3.49	3.98					

Px : 사용된 원지의 총 Ring Crush 강도/6(lb/in)

Ax : 골상수

A골 = 8.36 B골 = 5.00

C골 = 6.10 AB골 =13.36

J : 상자의 골상수

A골 = 0.59 B골 = 0.68

C골 = 0.68 AB골 = 0.55

Z : 상자의 주변장(in)〔(장+폭)×2〕

(1)식을 kg, cm단위로 하기 위하여는

a. Ax는 각각 대입함.

b. J의 상자의 상수는 각각 대입함.

c. Z의 주변장은 cm로 계산하기 위해 2.54로 나눔

(1)식의 Ring Crush치(Px)를 제외한 것을 F라고 하면

$F=[Ax^2/(Z/4)^2]^{1/3}JZ=(16Ax^2)^{1/3}JZ^{1/3}$이 되고, 이것을 변환하여 시험편이 6inch이므로 6으로 나누면

$F = (16 \cdot Ax^2)^{1/3} \cdot J/6 \cdot Z^{1/3}/2.54^{1/3} = 0.3078 \cdot J \cdot Ax^{2/3} \cdot Z^{1/3}$ ·····(2)

(2)식에 각 인자의 J.Ax를 대입하여 정리하면 F치는

$A골=0.748Z^{1/3}$ $B골=0.612Z^{1/3}$

$C골=0.699Z^{1/3}$ $AB골=0.953Z^{1/3}$

이 되지만 이 식에는 3제곱 입방근이 있어 보통 전자계산기로 계산이 불가능하여, 편리하게 적용할 수 있도록 주변장 변화에 대한 계수(F)를 계산하여 〔표4〕로 정리하였다.

따라서 상자의 압축강도 (P)는 다음 (3)식으로 구할 수 있다.

$P=Px \cdot F$ ·····(2)

단, Px : 구성원지의 총합 Ring Crush치 (kgf)

양면골판지의 $Px(P_1)=Ro+Tx \cdot Rm+Ri$(kgf)

이중 양면골판지의

$Px(P2)=Ro+TA \cdot Rm+Rc+T_B \cdot Rm+Ri$(kgf)

여기서

P_1 : 양면골판지의 수직 압축강도 (kgf)

P_2 : 이중 양면골판지의 수직 압축강도 (kgf)

Ro : 표면 라이너의 압축강도(kgf)

Rc : 중간 라이너의 압축강도(kgf)

Rm: 중심지의 압축강도(kgf)

Ri : 이면 라이너의 압축강도(kgf)

Tx: 골 짜임율

A골 : T_A=1.6, B골 : T_B=1.4

C골 : T_C=1.5

따라서 업체에서 사용되는 라이너와 중심지의 Ring Crush를 아는 경우 〔표4〕을 응용하여 골판지상자의 주변장과 F계수에 대한 압축강도를 도표 또는 그림으로 정리하여 사용하면 편리하다. ko

〈참고문헌〉

1. 수송포장 설계의 혁신과 Cost 절감, 기술세미나 교재, 木材年治(日本枝術士), 1992

2. 수송포장 설계 핸드북, 日本輸送包裝研究會 (1994)

3. 골판지 포장전문 교육 교재 (1993) 산업디자인 포장개발원

4. 포장개발 연구보고서 한국디자인포장센터 (1982)

5. KSA 1502 (외부포장용 골판지)

6. KSA 1531 (외부포장용 골판지상자)

7. KSM 7076 (골판지용 골심지)

8. KSM 7502 (골판지 라이너)

9. ASTM D-4169 : Performance Testing of Shipping Containers