

시판 라이너지와 골심지의 물성과 압축강도 관계의 분석

문정언¹, 심진한¹, 민경은¹, 박종문^{2†}

접수일(2022년 5월 13일), 수정일(2022년 6월 9일), 채택일(2022년 6월 10일)

Relationship between the General Properties and Compression Strength of Commercial Linerboard and Corrugating Medium

Jung-Eon Moon¹, Jin-Han Sim¹, Kyung-Eun Min¹, Jong-Moon Park^{2†}

Received May 13, 2022; Received in revised form June 9, 2022; Accepted June 10, 2022

ABSTRACT

Paper packaging is an important sector of the packaging industry. There are several advantages of paper packaging over other materials, such as the ease of obtaining raw materials, low price, high strength at low weight, easy conversion process, and environmentally friendly properties. Liner boards and mediums for corrugated board need adequate properties for end usage, and these properties change depending on the raw materials, production, and conversion processes.

The properties of 25 current commercial liner boards and mediums in the domestic market were analyzed for better understanding and utilization. The apparent density, air permeability, internal bond strength, tensile strength, and burst strength, were measured, and the ring crush test (RCT) and short-span compression test (SCT) were performed. The basis weights were changed from 115 to 300 g/m², and the air permeability was decreased with higher basis weight. The RCT and SCT compression strengths were increased as the tensile strengths at both of machine direction (MD) and cross-machine direction (CD). As the internal bond strength increased, the MD and CD tensile strengths increased, but a trend was not apparent. The burst strength was increased as the tensile strength increased. The tensile strength, burst strength, and compression strength were correlated very closely. The burst strength increased as the tensile strength increased, and the MD tensile strength had greater effect than the CD tensile strength on increasing the burst strength. Compression strength was improved to a greater degree by the MD

¹ 충북대학교 임산공학과(Department of Forest Products and Engineering, Chungbuk National University), 학생

² 충북대학교 목재종이과학과(Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: jmpark@cbnu.ac.kr (Address: Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, 28644, Republic of Korea)

tensile strength than by the CD tensile strength. The SCT compression strength with a 0.7 mm span was higher than the RCT strength. The RCT and SCT compression strengths were higher in the MD than in the CD.

Keywords: Paper packaging, linerboard, corrugating medium, basis weight, compressive strength, RCT, SCT, tensile strength

1. 서론

지류 포장용 포장산업 중에서 차지하는 비중이 큰 분야로 원료를 쉽게 구할 수 있으며 가격이 싸고 중량에 비해서 강도가 우수하며 기계적으로 가공하기 쉬운 장점을 갖고 있다. 또한 매년 재생산이 가능한 생분해 가능성의 원료로 생산하여 재활용할 수 있어서 환경적으로 유리한 장점을 갖고 있다.¹⁾

국가 물류 통합정보센터²⁾의 택배 이용 횟수 추이 조사에 따르면 2,000년부터 택배 이용 횟수는 계속 증가하는 추세이다. 코로나 19의 영향으로 택배 물량이 급격히 증가함에 따라 지류 포장 중에서도 골판지 제조의 중요성이 더욱 높아졌다. 또한 폐지를 재활용해 만드는 골판지 산업 특성이 환경·사회·지배구조 즉 environment, social, governance(ESG) 경영에 부합한다는 장점도 있다. 플라스틱 대신 종이 기반 포장재로 교체하는 글로벌 추세 역시 골판지의 사용량을 증가시키고 있다.³⁾

한국제지연합회의 통계 자료⁴⁾에 따르면 국내 종이 생산량의 약 52%가 골판지 생산 원료로 사용되므로, 라이너지와 골심지의 중요성은 매우 높다. 라이너지와 골심지로 골판지를 생산하고, 각각의 용도에 맞게 골판지 상자를 만들어 사용한다. 그러므로 골판지 상자를 만들기 위한 라이너지와 골심지의 물리적·화학적 특성도 다르게 요구된다.

상자와 포장 용기 등의 생산에 필요한 라이너지와 골심지를 생산할 때 펄프 등 원료, 생산방법과 사용 약품 등에 따라 물리적 성질이 변하므로 용도에 적합한 특성으로 조절하는 것이 중요하다. 라이너지와 골심지를 원료를 절감, 생산하기 위해 재활용 펄프를 천연 펄프와 혼합 사용할 수 있지만 재활용 펄프 함량이 높을수록 물리적 성질이 떨어지며 불균일성이 발생할 수 있다. 따라서 이

들 종이의 특성을 균일하게 유지해주는 것이 중요하다.

현재 국내 시중에서 골판지 생산에 사용하는 지종은 사용 목적과 종이의 평량에 따라 구분하고 있다. 라이너지와 골심지의 특성은 회사마다 다르며, 골판지 상자를 원하는 특성 조건에 맞게 생산하기 위해서는 원지의 특성 조절이 가장 중요하다.⁵⁾

라이너지와 골심지의 특성에 대한 연구는 물론, 그들의 특성으로부터 골판지 상자의 강도를 예측하기 위한 많은 연구들이 수행되었다.^{6,7)} 골판지 상자를 운송, 보관, 취급할 때 충분한 압축강도가 필요하기 때문에 골판지 원지 특성 중 압축강도가 매우 중요하다. 전통적으로 압축강도 측정에 가장 널리 사용해왔던 RCT는 주로 섬유 결합의 파괴와 좌굴(buckling) 파괴의 영향을 받는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 최근에 개발된 SCT는 주로 섬유 결합의 파괴와 좌굴 파괴에 대한 저항성을 측정하지만 스펀이 0.7 mm에 불과한 매우 짧은 거리이므로 좌굴 파괴의 영향이 적고 순수한 압축강도에 가까우며, 종이의 강직성(stiffness)에 영향을 받지 않는다고 하였다.⁸⁾ RCT는 비교적 넓은 면적을 측정하므로 종이 시료에 결점이 포함될 확률이 높아져서 측정값이 낮아지고 여러 요인에 의해 정확성이 떨어지는 한계가 있다고 알려졌다.⁹⁾ 반면에 SCT는 스펀 거리가 짧아 RCT에 비해서 측정값에 영향을 끼치는 요인이 적다고 알려져 있다.¹⁰⁻¹²⁾

본 연구에서는 시중의 골판지 생산에 사용하는 여러 회사의 주요 라이너지, 골심지 25종에 대해 밀도, 투기도, 평량, MD, CD 인장강도, 내부결합강도, 파열강도, MD와 CD 방향의 RCT, SCT 압축강도를 측정하고 특성들의 상호 관계를 분석하였다. 이러한 연구 결과가 압축강도의 효율적 관리와 향상에 도움이 되고자 하였다.

Table 1. Basis weight of liner and medium paperboard

| Company | A | | | B | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Paperboard | A-1 | A-2 | A-3 | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | B-5 | B-6 |
| Basis weight (g/m ²) | 117.8 | 149.8 | 178.3 | 174.3 | 113.7 | 170.0 | 174.2 | 177.4 | 173.9 |
| Company | B | | C | | | D | | | |
| Paperboard | B-7 | C-1 | C-2 | C-3 | C-4 | C-5 | D-1 | D-2 | |
| Basis weight (g/m ²) | 112.4 | 181.4 | 175.3 | 179.6 | 179.4 | 178.7 | 181.1 | 206.2 | |
| Company | D | | | | | | | | |
| Paperboard | D-3 | D-4 | D-5 | D-6 | D-7 | D-8 | D-9 | D-10 | |
| Basis weight (g/m ²) | 183.8 | 174.7 | 221.6 | 294.0 | 220.4 | 179.0 | 207.9 | 179.5 | |

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국내 골판지 원지를 생산하고 있는 주요 4개사에서 다음 Table 1과 같이 25개 지종을 분양받아 사용하였다. A-1, 2, 3, B-2, 4, 7은 골심지였고, 이를 제외한 판지는 라이너지였다.

2.2 실험방법

2.2.1 겉보기 밀도

KS M ISO 187에 따라 조습 처리한 후 KS M ISO 536과 KS M ISO 534에 의해 측정된 평량과 두께로 겉보기 밀도를 계산하였다.

$$Apparent\ density\ (g/cm^3) = \frac{Basis\ weight(g/m^2)}{Thickness(\mu m)}$$

2.2.2 투기도

KS M ISO 5636-5에 의거하여 투기도를 측정하였다.

2.2.3 물성분석

모든 시편은 조습처리 후 물성을 측정하였다. 인장강도(KS M ISO 1924-2), RCT(KS M ISO 12192), Scott 내부결합강도(KS M ISO 16260)와 SCT(KS M ISO 9895)를 측정하였다.

라이너지와 골심지의 압축강도는 골판지 원지와 골판지 상자의 수직 압축강도에 크게 영향을 끼쳐 밀접한 관련이 있다.¹³⁾ 따라서 압축강도를 SCT와 RCT로 측정하여

비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 겉보기 밀도와 인장강도, 압축강도의 변화

겉보기 밀도와 인장강도의 변화를 Fig. 1에, RCT와 SCT 압축강도는 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 1에서 R²은 0.4021이었다. 일반적으로 알려져 있는 바와 같이 인장강도와 압축강도는 모두 겉보기 밀도가 증가할수록 증가하는 경향이 매우 뚜렷했다. 일반적인 강도는 겉보기 밀도보다 평량에 더 영향을 받는다고 알려져 있지만, 회사 입장에서는 평량을 증가시키기 위해서는 지료 투입량이 증가해야 하기 때문에 원가 상승의 원인이 된다. 따라서 Fig. 2에서 보는 바와 같이 RCT, SCT 압축강도를 향상시키기 위해서는 동일한 평량 조건이라면 겉보기 밀도를 증가시켜주는 것이 유리하다고 판단했다.

3.2 투기도

투기도는 펄프의 종류나 고해, 초지 공정에 따라 변화하는데, 종이 구조의 치밀성, 표면의 평활성, 지합 등에 영향을 받으며 특히 종이 구조와 표면특성에 크게 영향을 받는다. 골판지 원지의 투기도를 Table 2에 나타냈는데, 평량이 가장 높은 D-6 원지가 투기도가 가장 낮은 값을 나타냈다.

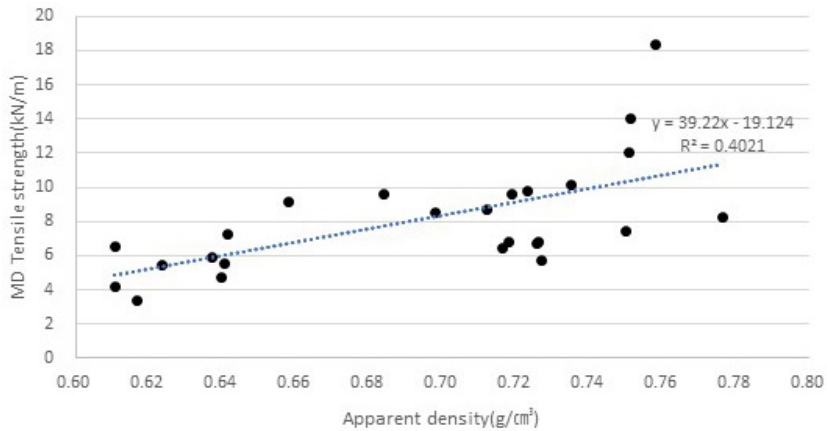


Fig. 1. Changes of the MD tensile strength depending on the apparent density.

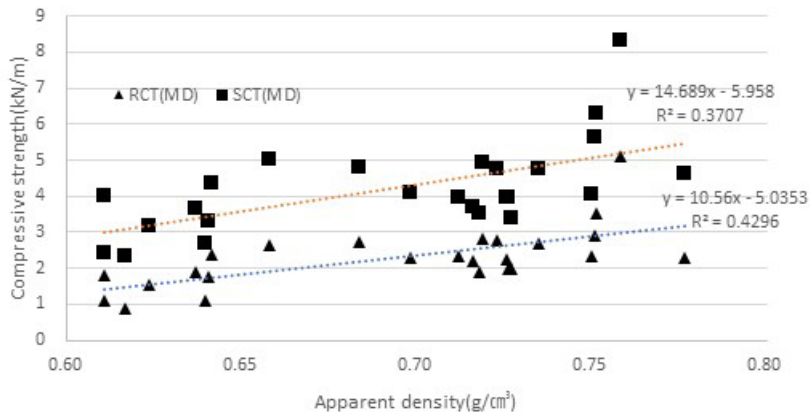


Fig. 2. Changes of the MD compressive strength depending on the apparent density.

Table 2. The air permeability depending on paperboard specimen

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Unit | A-1 | A-2 | A-3 | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | B-5 | B-6 | B-7 | C-1 | C-2 | C-3 |
| s. | 17.4 | 18.5 | 17.3 | 10.8 | 12.0 | 15.9 | 15.8 | 27.0 | 31.2 | 14.4 | 15.3 | 16.0 | 24.6 |
| Unit | C-4 | C-5 | D-1 | D-2 | D-3 | D-4 | D-5 | D-6 | D-7 | D-8 | D-9 | D-10 | |
| s. | 20.7 | 22.0 | 23.3 | 29.8 | 28.8 | 29.5 | 33.3 | 55.2 | 48.3 | 31.9 | 43.5 | 29.6 | |

3.3 내부결합강도, 인장강도와 파열강도의 변화

내부결합강도와 인장강도를 측정하는 결과는 Figs. 3과 4에 나타냈다. 일반적으로 알려져 있는 것과 같이 내부결합강도가 증가하면 인장강도가 증가했다. 회사마다 지료 조성, 초지 방법, 설비 등의 차이에 의하여 내부결합강도가 변하므로, 여러 회사의 라이너지와 골심지를 비교한 결과에서는 증가의 경향은 보이지만 뚜렷한 경향은

보이지 않았다.

MD, CD 인장강도와 파열강도의 관계를 Figs. 5, 6에 나타내었는데, 인장강도가 증가할수록 파열강도도 증가하는 경향을 뚜렷하게 보였다. 특히 CD 인장강도가 증가했을 때보다 MD 인장강도가 증가했을 때 파열강도 증가 경향이 더욱 뚜렷하였다. 파열강도 증가가 목적이라면 MD 인장강도를 증가시키는 것이 매우 효율적인 것으로 판단됐다. 다른 지종에 비해 D-4, 5, 6은 모든 강도 측면

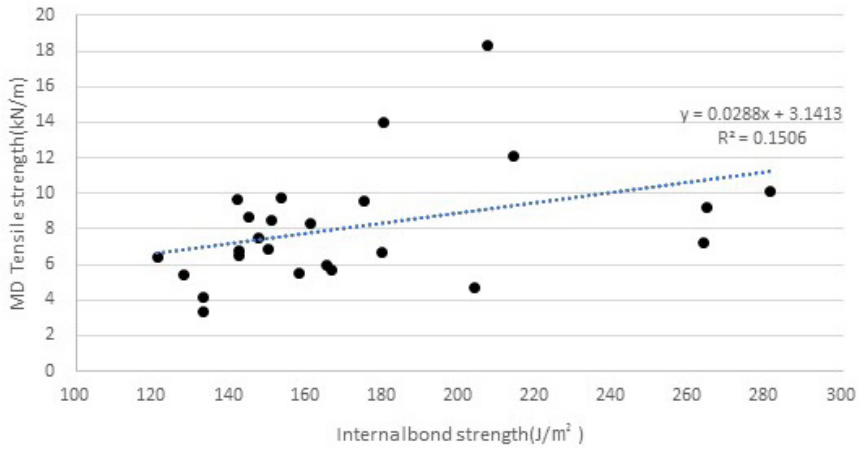


Fig. 3. Changes of the MD tensile strength depending on the internal bond strength.

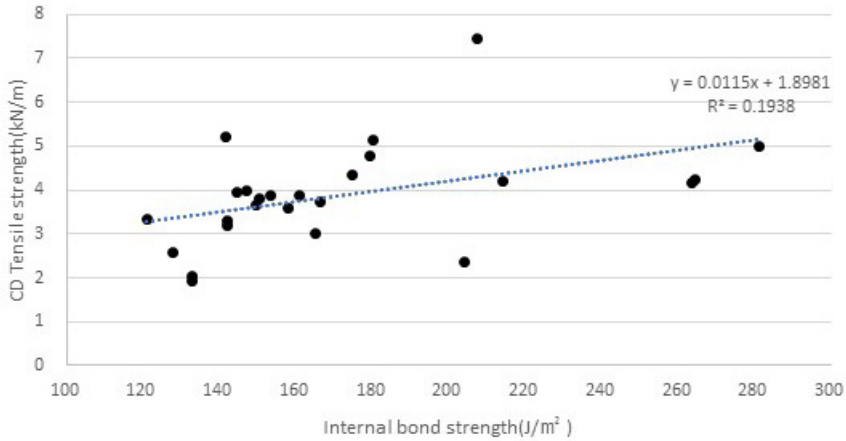


Fig. 4. Changes of the CD tensile strength depending on the internal bond strength.

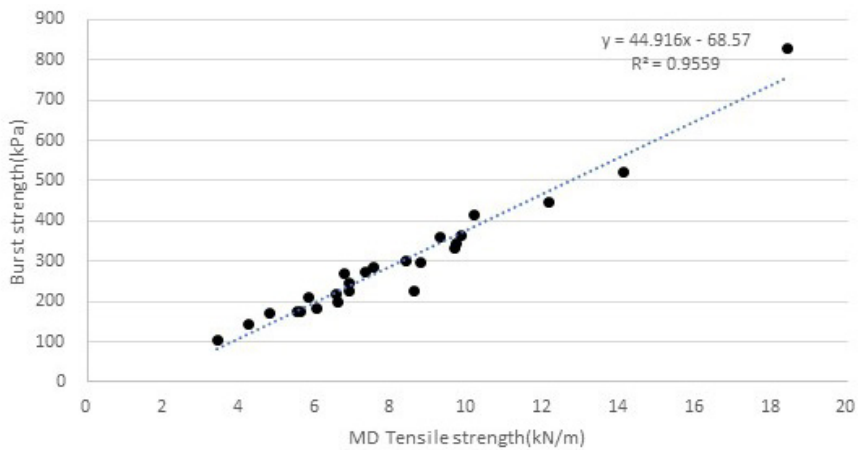


Fig. 5. Changes of the burst strength depending the MD tensile strength.

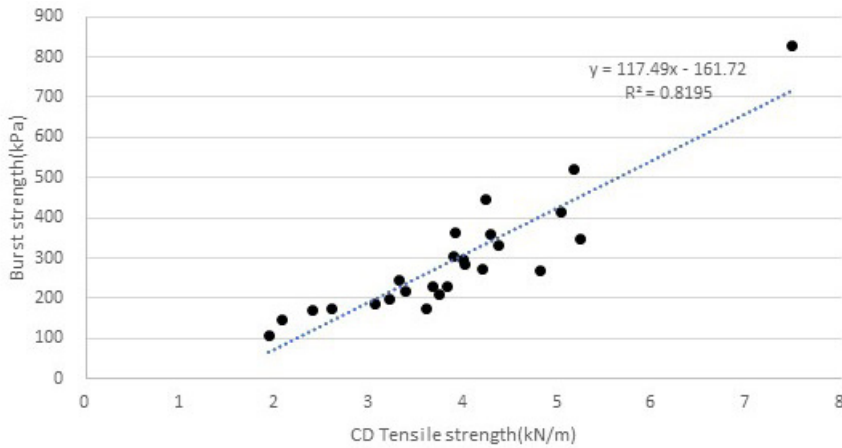


Fig. 6. Changes of the burst strength depending the CD tensile strength.

에서 월등히 높았는데, 이 지종들은 천연 펄프의 비율이 높은 고강도 라이너지이기 때문에 판단됐다.

3.4 내부결합강도, 파열강도, 압축강도의 변화

내부결합강도와 MD, CD 압축강도의 측정결과를 Figs. 7과 8에 나타냈다. 내부결합강도와 압축강도는 약 하게 비례적인 증가가 보였지만 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다. 한편 MD, CD 파열강도와 압축강도는 Figs. 9, 10에 나타냈다. 앞에선 본 내부결합강도의 변화와 달리 파열강도가 증가할 때, 압축강도가 증가하는 경향이 매우 뚜렷하게 나타났다. 압축강도는 MD, CD의 모든 방향에서 파열강도가 증가할 때 매우 높은 상관관계를 가지며 증가하였다.

Figs. 7~10에서 보는 바와 같이 RCT보다 SCT의 경우 압축강도가 높았는데 이는 RCT에서는 좌굴 파괴 현상이 발생하기 때문에 낮은 압축강도 값을 나타내는 것으로 판단됐다. 한편 SCT의 경우에는 RCT보다 0.7 mm로 스펀이 매우 짧아 좌굴 파괴에 의한 영향을 덜 받기 때문에 높은 압축강도를 나타내는 것이라고 판단됐다. 압축강도는 내부결합강도보다 파열강도와 더 밀접한 관계를 가지고 있으며, 압축강도를 증가시키기 위해서는 파열강도를 증가시키는 것이 유리할 것으로 판단됐다. 따라서 최근에 지류포장에 사용하는 라이너지와 골심지의 품질을 관리할 때, 최근 들어 산업 현장에서 인열강도보다는 파열강도로 관리하는 방향으로 변화되고 있는데 이러한 방향은 매우 합리적인 변화라고 판단됐다.

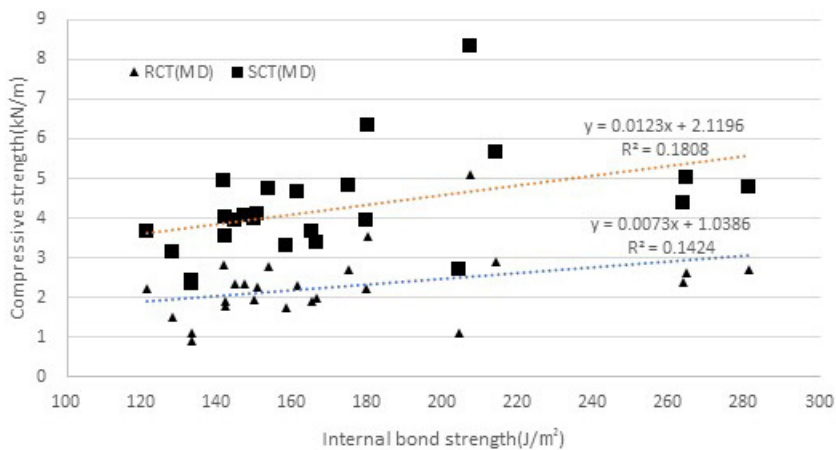


Fig. 7. Changes of the MD compressive strength depending on the internal bond strength.

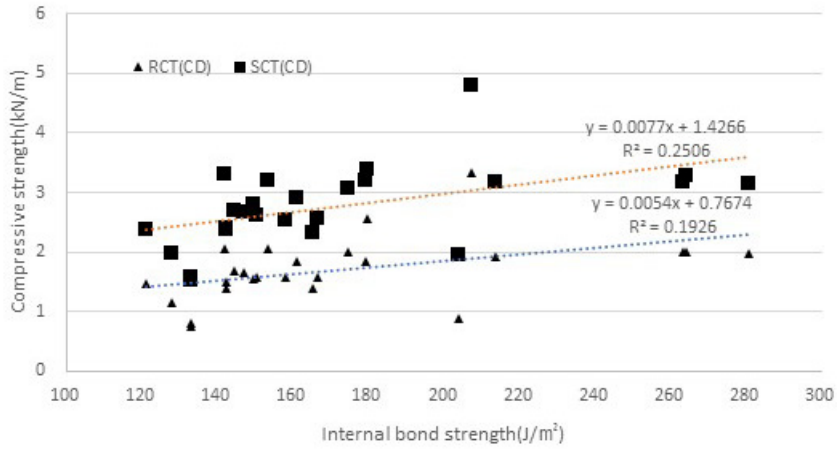


Fig. 8. Changes of the CD compressive strength depending on the internal bond strength.

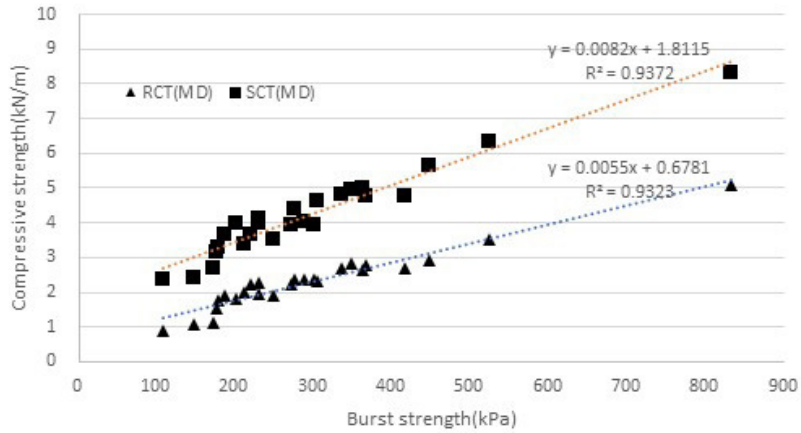


Fig. 9. Changes of the MD compressive strength depending on the burst strength.

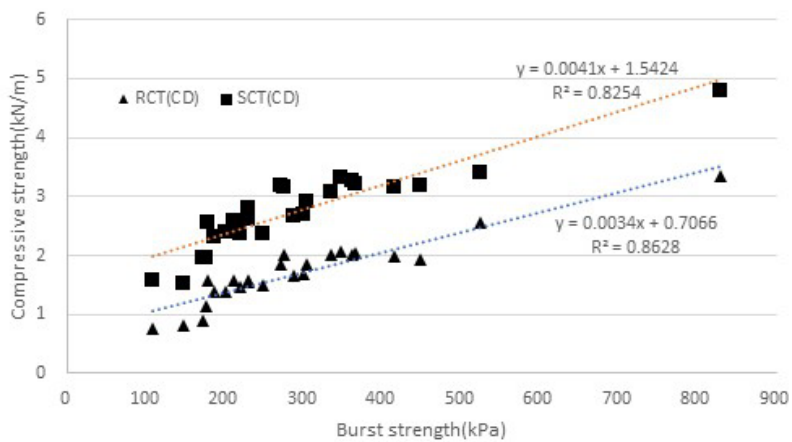


Fig. 10. Changes of the CD compressive strength depending on the burst strength.

3.5 인장강도와 압축강도의 변화

라이너지와 골심지의 MD 인장강도와 압축강도의 변화를 Fig. 11에 나타냈고, Fig. 12에 CD 인장강도와 압축강도의 변화를 나타냈다. MD, CD 인장강도가 증가할수록 압축강도가 모두 증가하는 경향을 나타냈지만, MD의 경우가 CD에 비해 압축강도가 높았는데, 이는 섬유 배향에 따른 결과로 압축강도에 섬유 간 결합보다는 섬유 자체의 강도가 강하게 영향을 끼치기 때문이라고 판단됐다. Shallhorn의 모델⁶⁾에서도 섬유의 축방향의 압축강도 (fiber axial compression strength)가 영향을 높게 끼친다고 하는 것과 동일한 결과로 판단됐다. 압축강도를 높이기 위해 인장강도를 향상시키려면 Fig. 1에서 보는 바와 같이 겉보기 밀도를 증가시킬 필요가 있다고 판단

됐다.

압축강도는 원료의 선택, 초지 공정 조건, 가공 공정 조건의 영향을 받는다.^{14,15)} Fig. 1부터 Fig. 12까지의 결과를 토대로 본다면, 원료의 선택 측면에서 섬유 자체의 압축강도가 높은 것이 유리하다고 판단됐다. 또한, 초지 공정의 측면에서 동일 평량 조건이라면 겉보기 밀도를 높이는 것이 유리하다고 판단됐다. 내부결합강도와 인장강도를 높이고 파열강도 향상에 노력하며 SCT로 압축강도를 관리하되, SCT와 매우 밀접한 관계가 있는 RCT만으로도 압축강도 관리에 도움이 될 것으로 판단됐다.

3.6 라이너지, 골심지의 RCT와 SCT의 관계

Figs. 13, 14에 RCT와 SCT의 관계를 나타냈다. 라이

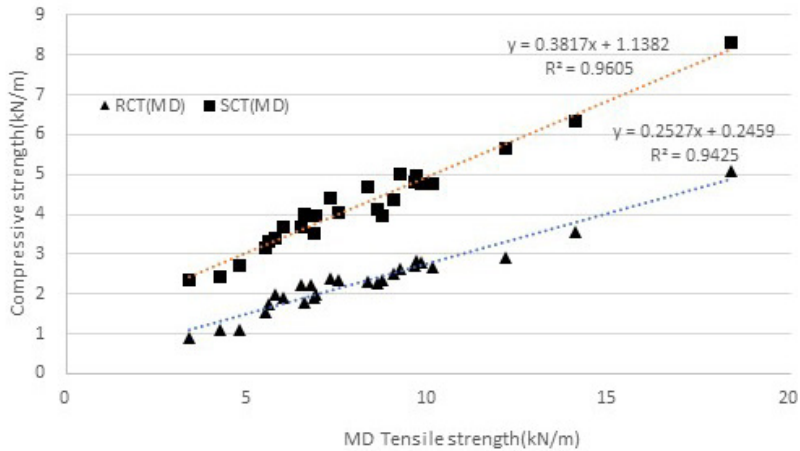


Fig. 11. Changes of the MD compressive strength depending on the MD tensile strength,

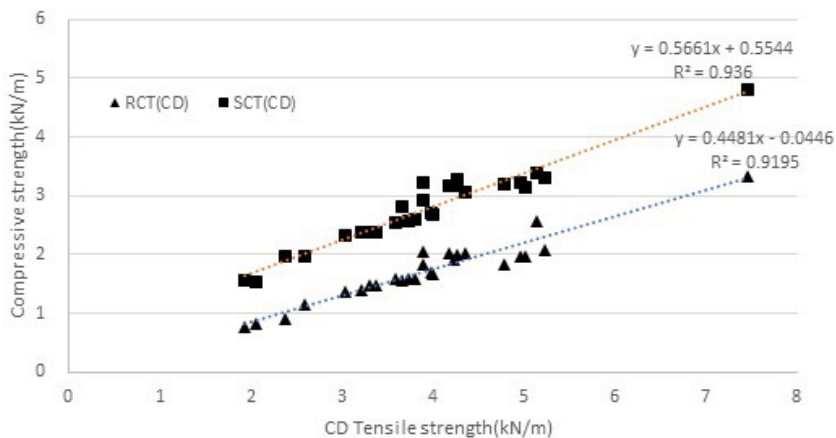


Fig. 12. Changes of the CD compressive strength depending on the CD tensile strength,

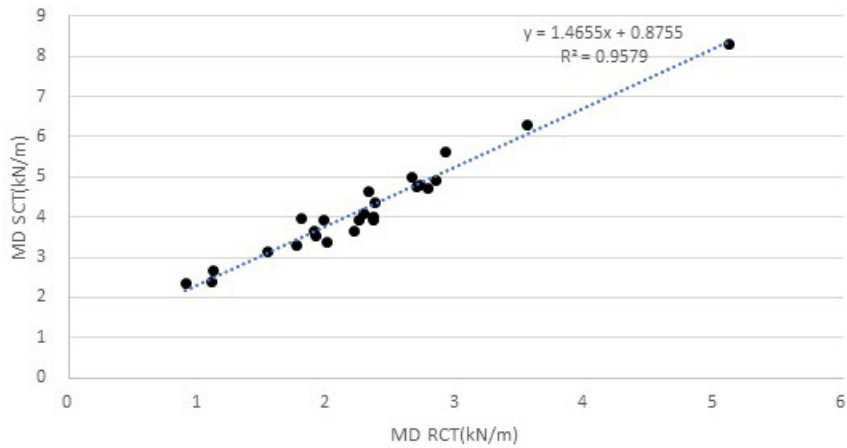


Fig. 13. Correlation between the MD RCT and the MD SCT compressive strength.

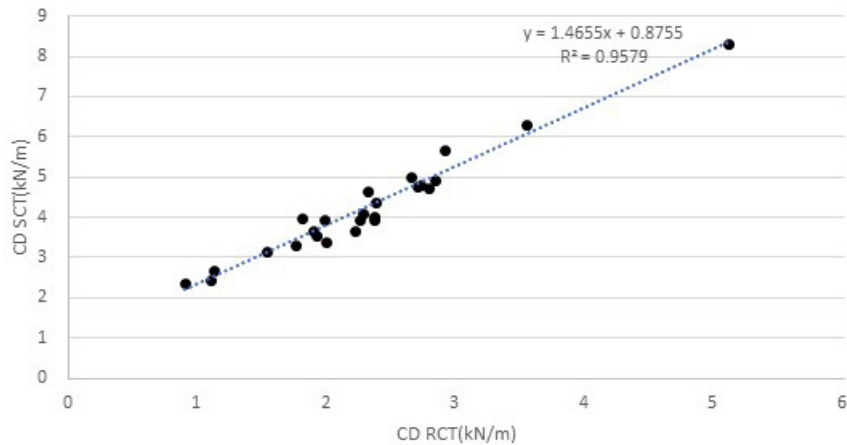


Fig. 14. Correlation between the CD RCT and the CD SCT compressive strength.

너지와 골심지의 RCT와 SCT는 MD, CD 방향 모두에서 매우 밀접한 비례적인 관계가 있었다. 좌굴 파괴와 여러 요인이 압축강도를 낮추는 효과를 나타냈기 때문에 RCT 압축강도는 SCT 보다 낮은 압축강도를 나타냈다. SCT 압축강도는 0.7 mm의 스펠에서 측정하기 때문에 변화 요인이 적기 때문으로 판단됐다. 최근에 개발된 SCT 측정기가 없으면 서로 비례적이기 때문에 RCT 측정기로도 압축강도를 어느 정도 관리가 가능할 것으로 판단됐다. 그러나 지료조성, 초지공정, 가공 공정 등의 여러 조건의 변화에 의해 영향을 받기 때문에 RCT와 SCT의 관계를 일정하고 동일하게 제시하기는 어려울 것으로 판단됐다.

4. 결론

지류포장에 사용하는 다양한 라이너지, 골심지의 여러 특성과 압축강도의 특성을 이해하기 위하여, 현재 시중에서 사용하는 주요 4개 회사의 25가지 라이너지와 골심지에 대하여 물성과 압축강도를 측정하여 분석하였다.

평균은 115에서 300 g/m²으로 넓은 범위의 변화를 가졌으며, 평균이 증가할 때 구조가 치밀해지면서 투기도가 낮아졌다. 겉보기 밀도가 증가할 때 MD, CD 인장강도와 RCT, SCT 압축강도가 증가하였다. 내부결합강도가 증가하면서 MD, CD 인장강도가 증가하였지만 여러 회사의 라이너지와 골심지이기 때문에 상호 관련성이 뚜렷하지는 않았다.

인장강도, 파열강도와 압축강도는 서로 매우 밀접한 관계를 가지고 변화하였다. 인장강도가 증가하면 파열강도가 증가하였는데, MD 인장강도가 CD 인장강도보다 파열강도 상승과 상호 관련성이 높았다. 인장강도 증가시 압축강도가 증가하였는데, MD 인장강도가 CD 인장강도보다 압축강도 상승과 관련성이 높았다. 압축강도에 있어서 넓은 면적을 측정하는 RCT보다 0.7 mm의 짧은 스펙에서 측정하는 SCT의 압축강도 측정값이 높았다. CD보다 MD에서 RCT와 SCT 압축강도가 모두 높았다. RCT와 SCT 압축강도는 매우 높은 비례적인 관계를 나타냈다.

사 사

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2021)지원을 받아 작성되었음.

This research was supported by Chungbuk National University Korea National University Development Project (2021).

Literature Cited

1. Min, K. E. and Park, J. M., Effect of corrugating medium's properties on microflute -formation, *Journal of Korea TAPPI* 37(2):57-63 (2005).
2. Korea Paper Association, http://www.paper.or.kr/sub_5/5_1_1.php.
3. Choe, J. H. and Park, B. R., A case study on packaging innovation for reduction of plastic use and resource circulation, *Korea Packaging Association Inc.*, 336:68-79 (2021).
4. National Logistics Information Center, <https://www.nlic.go.kr/nlic/parcelServiceLogistics.action>.
5. Ahn, B. G. and Ahn, W. Y., Effect of relative humidity and box structure on box compression strength, *Journal of Korea TAPPI* 31(3): 47-53 (1999).
6. Shallhorn, P., Ju, S., and Gurnagul, N., A model for short-span compressive strength of paperboard, *Nordic P. & P. Research J.* 19(2):130-134 (2004).
7. Popil, R. E., A new model for converting short span compression with other measurements to ring crush, *TAPPI PaperCon* (2010).
8. Smook, G., *Handbook for Pulp & Paper Technologists* (4th ed.), pp. 354-355, TAPPI Press, USA, (2016).
9. Frank, B., Ring crush and short span compression for predicting edgewise compressive strength, *TAPPI J.* 2(9):3-4 (2003).
10. Dimitrov, K., Relationship between the ECT-strength of corrugated board and the compression strength of liner and fluting medium papers, *University of Pretoria, MEng Dissertation* (2010).
11. Šarčević, I., Banić, D., and Milčić, D., Evaluation of compressive test methods for paper using a mathematical model, based on compressive test for corrugated board, *Acta Graphica* 27(1):47-50 (2016).
12. Benjamin, F., Ring crush and short span compression for predicting edgewise compressive strength, *TAPPI J.* 2(9):1-4 (2003).
13. Kim, Y. W., *Corrugated packaging logistics*, Korea Corrugated Packaging Case Industry Association 5(24):36-40 (1998).
14. Holik, H. (ed.), *Handbook of paper and board* (2nd ed.), Wiley-VCH, Weinheim, Germany (2013).
15. Niskanen, K., *Book 16. Paper physics*, Paper-making Science and Technology, Fapet Oy, Finland (1998).