

이차전지 원료 해쇄용 Grinding Disc Assembly 품질 시험에 관한 연구

한상필 · 이동혁^{1,*}

상지대학교 소방안전학과^{1,*}

A Study on the Quality Test of Grinding Disk Assembly for Crushing Material in Secondary Battery

Sang-Pil Han · Dong-Hyuk Lee^{1,*}

Department of Fire Protection Engineering, Sangji University^{1,*}

(Received June 13, 2023 / Revised June 28, 2023 / Accepted June 30, 2023)

Abstract: Currently, fossil resources are depleting rapidly. We are looking for energy to replace fossil fuels. They are trying to use electricity to replace internal combustion locomotives. Secondary battery raw materials and chemical additives are pulverized by the high-speed rotation of the grinding disc of the Classifier Separator Mill. Grinding Disc Assembly requires characteristics to withstand abrasion, corrosion, high-speed rotational force and impact. Domestic and foreign grinding discs were analyzed through abrasion resistance, hardness, bending strength, and tensile adhesion strength tests.

Key Words: CSM, Secondary Battery, Quality Test, Grinding Disc

1. 서론

최근 인구의 성장과 경제의 발전이 가속됨에 따라 화석자원은 급속도로 사용량이 증가하여 고갈 속도가 점차 빨라지고 있다. 이에 전세계적으로 화석연료를 대체할 에너지를 찾기 위하여 방법을 연구하고 있다. 석탄, 석유 등의 화석연료는 한정된 연료이기 때문에 무한정 사용할 수 없다. 그리고 화석연료의 구성요소 중 탄소가 포함되어 있어 온난화의 원인이라고 파악되는 이산화탄소를 대량으로 만들어내는 문제점을 가졌다. 이러한 환경적 문제가 부각되면서 각국들은 1997년 일본 교토에서 교토의 정서를 체결하여 온실가스를 감축하기로 하는 협약을 맺었다¹⁾. 하지만 이 협약은 온실가스를 감축하고자 말할뿐 구체적으로 해결할 방안을 나타내지 않아 대체에너지 개발에 큰 도움이 되지 않았고 더욱 빠른 기술개발을 위해 2015년 프랑스 파리에서 파리협정을 체결하여 UN에 소속된 각국이 온실가스의 감축뿐만 아닌 적응과 재원, 기술이전, 역량배양,

투명성 등 다양한 분야에서 대체에너지 개발에 박차를 가할 협약을 맺었다²⁾.

몇몇 산업들은 대체에너지를 통해 화석연료를 대체하고 있으나 교통의 주 소비재인 내연자동차는 아직 대체를 하지 못하고 있다. 유럽연합은 2035년부터 휘발유, 경유 등 화석연료를 사용하는 내연기관차의 판매를 금지하는 방안에 합의하였다³⁾. 그래서 내연기관차를 대체하고자 기업들은 전기를 동력원으로 사용하는 전기차와 수소결합을 이용한 수소차 개발을 주력으로 진행하고 있다. 그중 전기차는 전기를 이용해 에너지를 얻어 작동함으로 이산화탄소를 생성하지 않는다는 장점이 있어서 많은 기업들이 내연기관차를 대체할 주력 산업으로 생각하여 개발을 하고 있다.

전기차의 핵심부품 중 하나는 배터리인 이차전지다. 화학물질의 화학에너지를 전기화학적 산화 환원 반응에 의해 전기에너지로 변환하는 장치를 배터리라 말한다. Cho et al⁴⁾에서 모든 배터리는 양극과 음극이라는 활물질을 가지고 있으며, 분리막으로 분리되어 있으며 전해질이 양극재와 음극재 사이의 이온전달을 하여 산화 환원 반응을 일으킨다. 배터리의 핵심소재는 양극재, 음극재, 분리막 및 전해질이

* 교신저자: idonghyuk@hanmail.net

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

며 이중에 비중이 가장 큰 건 양극재로 전기를 저장하는 양극 활물질의 중요하다. 이차전지 원료인 하이니켈과 코발트 등의 이차전지의 금속원료와 화학첨가물 등은 Classifier Separator Mill(CSM)의 Grinding Disc의 고속 회전하며 생긴 원심력에 의해 미세입자들을 빨아들여 포집하고 큰 입자들은 내부 부품들에 부딪히면서 입자들 간의 결합이 끊어지는데, 이렇게 입자가 파괴 되는 게 아닌 입자간의 결합이 끊어지는 것을 해쇄된다고 표현한다⁵⁻⁶⁾. Grinding Disc는 마모와 부식, 고속의 회전력 및 충격에도 견뎌야 하는 특성이 요구된다. 허나 Grinding Disc Assembly는 수입에 의존하고 있어, 국내 기술 개발이 필요하다.

이차전지 시장에서 한국은 세계적으로 높은 경쟁력을 보여주나 소재부품장비는 해외의존도가 높아 이로 인하여 공급의 어려움을 가지고 있어 소재부품장비 공급망을 위한 안정화 전략이 필요하다.⁷⁾

따라서, 본 연구에서는 이차전지 원료를 해쇄하는 Classifier Separator Mill(CSM)의 국의 Grinding Disc Assembly의 안정성을 분석하기 위해 내마모성, 경도, 꺾임강도, 인장접착강도 등을 포함한 품질 시험을 통하여 분석하였다.

2. Grinding Disc Assembly 표면 품질 시험

2.1. Grinding Disc Assembly 시료

Fig. 1은 실험에 사용한 시료인 독일 제품의 Grinding Disc Assembly와 개발한 Grinding Disc Assembly를 보여준다. 시료는 Al, Zr로 각각 구성되었으며 구성물질에 따라 다른 테스트를 진행하였다.



Fig. 1 Grinding Disc Assembly

2.2. 시험 방법

Grinding Disc Assembly의 품질을 분석하기 위하여 표준규격의 KS L 1001:2020⁸⁾을 통한 내마모성 시험, 표준규격의 KS L ISO 14705:2016⁹⁾을 통한 경

도 시험, 표준규격의 KS L ISO 14704:2016¹⁰⁾을 통한 꺾임강도시험, 표준규격의 KS M 3705:2020¹¹⁾을 통한 인장접착강도 시험이다.

내마모성 시험은 Fig. 2와 같이 수평면과 45°의 각도로 경사지게 장치하고, 1,100 mm의 높이에서 KS L 6508¹²⁾에 규정한 탄화규소 연삭재 C의 입도 20번을 무게 10 kg로 낙하시킨 후 시험체에 부착된 가루를 잘 털어내고 타일의 무게를 측정하여 그 무게 감량을 마모 감량으로 한다.

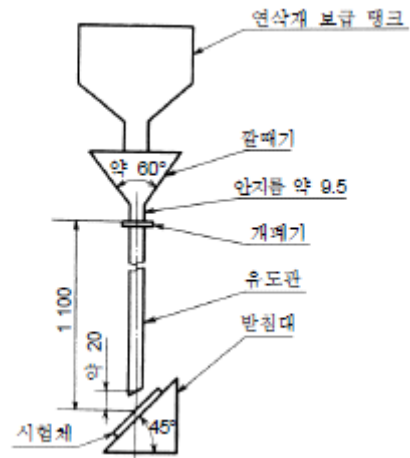


Fig. 2 Grinding material drop wear test device⁸⁾

경도 시험은 Fig. 3과 같이 권고 시험 하중은 9.807 N(1 kgf)이며, 시험편 표면에 수직인 방향으로 압입자를 시험편 표면에 닿도록 하고, 원하는 하중까지 하중을 가한다. 접촉에서 하중까지 소요되는 시간은 1초 이상 5초 이하 사이가 되도록 하며, 시험 하중을 유지하는 시간은 15초로 한다.

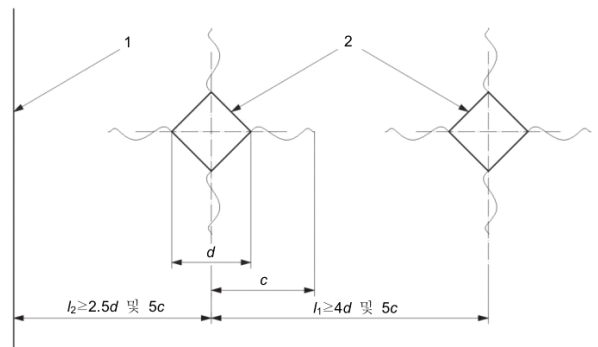


Fig. 3 Minimum allowable distance for hardness specimen indentation¹³⁾

꺽임강도 시험은 Fig. 4와 같이 시험편에 평균 강도의 10%에 해당하는 예비 하중을 가하고, 균일한 하중이 가해지는지 확인하기 위해, 베어링 접촉선과 시험편을 검사한 후, 시험을 시작하고 시험편이 파단 될 때까지 하중을 가하고 파단시간이 5~15초가 되도록 하중이 가해지는 속도 조절한다. 식(1)은 시험의 꺽임 강도를 보고하기 위한 일반적인 보정 공식으로 파단 순간 시험편에서 발생하는 최대 응력을 설명한다.

3점 꺽임강도 표준 공식 :

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad \text{---- (1)}$$

σ_f : Bending strength (MPa)

F : Breaking Load (N)

L : Length (mm) of the outer clearance of the fastener

b : Width of test piece (mm)

d : Thickness of test piece, parallel to direction of test force (mm)

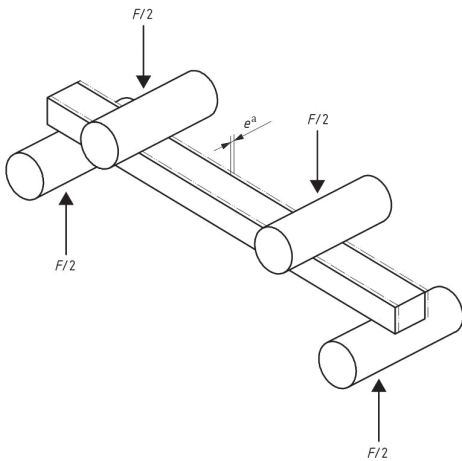


Fig. 4 Minimum allowable bending strength test specimen indentation¹⁰⁾

인장접착강도 시험은 Fig. 5와 같이 파괴 하중이 시험기 용량의 5%~85%에 해당하는 것을 사용하고, 시험편이 파괴될 때의 최대 하중(N)을 측정하고 실측한 접착 면적(cm²)으로 나누어서 접착 강도를 측정하고 하중 속도는 매분 2.9 kN으로 한다.

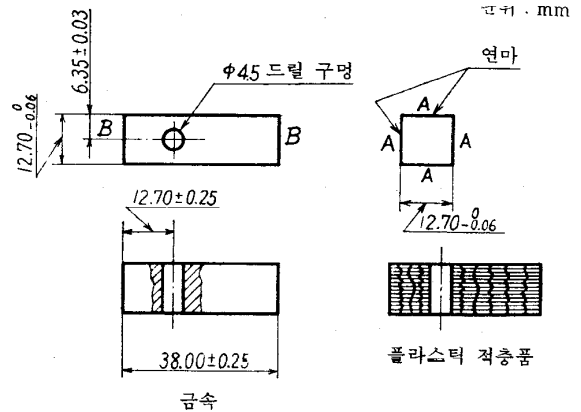


Fig. 5 Shape and dimensions of test piece¹¹⁾

2.3. 시험 결과

독일 Grinding Disc Assembly의 시험 시편을 측정하였다. 내마모성 시험 결과 내마모성은 모두 0g으로 현재기술수준으로 평가되는 0.02g인 값을 나타내는 것들 보다 매우 우수한 것으로 나타났다. 경도 시험 결과 경도는 1220 HV 10으로 나타났으며 이는 현재기술수준으로 평가되는 값인 1200 Hv 10보다 우수한 값이다. 꺽임강도 시험 결과 Table 1과 같이 세라믹 Al의 꺽임강도 평균은 380.33 MPa, 세라믹 Zr의 꺽임강도 평균은 758.67 MPa로 나타났으며, 현재기술수준으로 평가되는 Al의 꺽임강도 300MPa, Zr의 꺽임강도 700MPa보다 우수한 값이다. 인장접착강도 시험 결과 Table 2와 같이 인장접착강도는 평균 1673.8 N/cm²으로 나타났으며 현재기술수준으로 평가되는 1400N/cm²보다 우수한 값이다.

Table 1 Overseas bending strength test result

Source	Bending Strength(MPa)	Average(MPa)
Al #1	362	380.33
Al #2	421	
Al #3	358	
Zr #1	689	758.67
Zr #2	715	
Zr #3	872	

Table 2 Overseas tensile adhesion test results

Source	Tensile adhesion (N/cm ²)	Average(N/cm ²)
#1	870	1673.8
#2	982	
#3	2292	
#4	1877	
#5	2348	

국내에서 개발 Grinding Disc Assembly의 시험 시편을 측정하였다. 내마모성 시험 결과 내마모성은 모두 0g으로 현재기술수준으로 평가되는 0.02g인 값을 나타내는 것들보다 매우 우수한 것으로 나타났다. 경도 시험 결과 경도는 Table 3과 같이 Al의 경도는 평균 1256 HV 10, Zr의 경도는 1366 HV 10으로 나타났으며 이는 현재기술수준으로 평가되는 값인 1200 Hv 10보다 우수한 값이다. 꺾임강도 시험 결과 Table 4과 같이 Al의 꺾임강도는 평균 350.33 MPa, Zr의 꺾임강도는 평균 766 MPa으로 나타났으며 현재기술수준으로 평가되는 Al의 꺾임강도 300MPa, Zr의 꺾임강도 700MPa보다 우수한 값이다. 인장접착강도 시험 결과 Table 5와 같이 인장접착강도는 평균 1863.2 N/cm²으로 나타났으며 현재기술수준으로 평가되는 1400N/cm²보다 우수한 값이다.

Table 3 Domestic hardness test results

Source	Hardness test results(HV 10)	Average(HV 10)
Al #1	1260	1256
Al #2	1250	
Al #3	1260	
Al #4	1250	
Al #5	1260	
Zr #1	1350	1366
Zr #2	1370	
Zr #3	1360	
Zr #4	1370	
Zr #5	1380	

Table 4 Domestic bending strength test result

Source	Bending Strength(MPa)	Average(MPa)
Al #1	326	350.33
Al #2	364	
Al #3	361	
Zr #1	757	766.00
Zr #2	738	
Zr #3	803	

Table 5 Domestic tensile adhesion test results

Source	Tensile adhesion (N/cm ²)	Average(N/cm ²)
#1	1611	1863.2
#2	1967	
#3	1677	
#4	2450	
#5	1611	

3. 결론

본 연구에서는 이차전지 원료를 해쇄하는 Classifier Separator Mill(CSM)의 Grinding Disc Assembly의 안정성을 분석하기 위하여 내마모성, 경도, 꺾임강도, 인장접착강도 등을 알아보는 시험을 진행하였다.

연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 내마모성 시험 결과, 독일과 국내개발 제품 모두 0g으로 매우 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 경도 시험 결과, 국내개발된 제품이 독일 제품보다 평균 36 HV 10 높은 수치를 보여주며, 국내개발 제품이 독일 제품보다 우수하다는 것을 나타냈다.
- 3) 꺾임강도 시험 결과, 국내개발 제품이 독일 제품보다 Al의 경우 7.9% 낮음을 보여주며, Zr의 경우 0.97% 높음을 보여주며 Al의 경우 독일 제품이 우수하고, Zr의 경우 국내 제품이 우수하다는 것을 나타냈다.
- 4) 인장접착강도 시험 결과, 국내개발 제품이 독일 제품보다 11.31% 높은 수치를 보여주며, 국내개발 제품이 독일 제품보다 우수하다는 것을 나타냈다.
- 5) 이와 같은 결과는, 국내개발된 Grinding Disc Assembly 제품 생산 시, 독일 제품보다 동일한 품질

을 보유한 제품을 생산할 수 있다는 것을 나타내주는 결과인 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) UNFCCC, “Kyoto Protocol”, United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/L.7/Add.1, 1997.
- 2) UNFCCC, “Paris Agreement”, United Nations Framework Convention on Climate Change, Decision1/CP.21, 2015.
- 3) European Commission, “Fit for 55: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality”, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2021) 550 final, 2021.
- 4) Cho, M., Nah, D.B., Kil, S.C. and Kim. S.W., “Li-Ion Traction Batteries for All-Electric Vehicle”, Journal of Energy Engineering, Vol.20:2 pp.109-122, 2011.
- 5) Seo, Y.M., Jang, K.H., and Ahn, H.J., “Electrospinning-based Fabrication and Electrochemical Characterization of Lithium-ion Battery Electrode Materials”, Textile Science and Engineering, Vol.53:6 pp.428 - 433, 2016, <https://doi.org/10.12772/TSE.2016.53.428>
- 6) Yun, D.M., and Jeon, Y.H., “A study on structural analysis of GRINDING DISC ASS’Y for secondary battery material decomposition”, Design & Manufacturing, Vol.16:1 pp.36-42, 2022, <http://doi.org/10.22847/ksdme.16.1.202203.006>
- 7) Park, M.J., Jun, D.J., Seog Gi Kang, S.G., “Korean Secondary battery industrial ecosystem” Journal of the Korean Battery Society, Vol1:2 pp.85-88, 2021, <https://doi.org/10.53619/KOBS.2021.12.1.2.85>
- 8) KS L 1001, "Ceramic tiles", Korean Industrial Standards, Chungbuk, Korea, 2020.
- 9) ISO 14705:2016, “Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Test

method for hardness of monolithic ceramics at room temperature”, International Organization for Standardization, 2016.

- 10) ISO 14704:2016, “Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Test method for flexural strength of monolithic ceramics at room temperature”, International Organization for Standardization, 2016.
- 11) KS M 3705, “General testing methods for adhesives”, Korean Industrial Standards, Chungbuk, Korea, 2020.
- 12) KS L 6508, “Artificial abrasives”, Korean Industrial Standards, Chungbuk, Korea, 2018.
- 13) KS L ISO 14705, “Fine ceramics(advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Test method for hardness of monolithic ceramics at room temperature”, Korean Industrial Standards, Chungbuk, Korea, 2018.

저자 소개

이동혁 (Dong-Hyuk Lee) [정회원]



- 2022년 6월: 한양대학교 건설환경공학과 (공학박사)
- 2023년 3월~현재: 상지대학교 소방공학과, 외래교수

< 관심분야 >
토질 및 기초, 사면안정해석

한상필 (Sang-Pil Han) [정회원]



- 2005년 3월: Kyoto University 건축공학과 (공학박사)
- 2012년 3월~현재: 상지대학교 소방공학과, 부교수

< 관심분야 >
화재, 소방안전, 건축방재