

이온강화법을 이용한 소다라임 글라스 강화에 관한 연구

안해원*, 오재호*, 권수근**, 최성대#

(* 삼성전자무선사업부, #, **금오공과대학교 지능기계공학과)

A study on the strengthening of Sodalime glass using ion exchange method

H.W. Ahn*, J.H. Oh*, S.G. Kweon* and S.D. Choi#

(Received 13 August 2014; received in revised form 3 December 2014; accepted 30 December 2014)

ABSTRACT

The glass used for mobile display windows is required to have high strength. Chemical strengthening by means of ion exchange is widely used glass. The depth of the layer and the compressed stress are affected by tempering temperature and time. The purpose of this study is to investigate the range of DOL and CS, which to less breakage during reliability tests such as the ball drop test, hole drop test, 3-point bending test, drop test, and tumble test with Soda-lime Glass.

Key Words : Chemical Strengthening glass(화학강화 글라스), Sodalime(소다라임), Mobile display window, Aluminosilicate(알루미늄노실리케이트), Depth of Layer(DOL), Compressed Stress(압축응력, CS)

1. 서 론

Mobile device의 display window는 높은 강도와 투과율을 확보하기 위해 강화글라스를 채용하게 되었다. glass는 일반적으로 압축응력보다 인장응력에 취약하다는 것으로 인식되고 있어서 강화유리는 인장응력에 대응하도록 유리 표면에 압축응력이 구성되어 있다.¹⁾ Mobile device에 적용되는 강화유리 원단은 알루미늄노실리케이트 계열이 널리 사용되고 있고, 소다라임 글라스는 건축용 외장재

등에 많이 사용되고 있다. 소다라임 글라스는 알루미늄노실리케이트 글라스에 대비하여 제조공법이 간단하고 Al_2O_3 의 비중이 작아 염가의 재료이다.²⁾ Table 1은 소다라임 글라스와 알루미늄노실리케이트 글라스의 구성비를 나타내고 있다. Al_2O_3 의 구성비는 A사 소다라임의 경우 1.72%이며 C사 글라스의 경우 16.8%에 달한다. 소다라임 글라스는 Fig. 1에서 보듯이 분자들의 구조가 중간 중간 끊어져 있어서 강도는 상대적으로 취약하다고 알려져 있다. 유리 강화에는 유리를 가열한 후 급랭시켜 표면응력을 형성하는 물리적 강화와 이온교환을 통한 화학적 강화³⁾가 있다. 3mm이내의 mobile device용 글라스는 열에 의한 변형으로 물리적 강화는 적합하지 않으며⁴⁾ 이와 같은 이유로 박판 및 복잡한 형상구현에는 화학적 강화가 사용되고 있다. Fig.2는 화학적 강화를 나타내고 있다. 강화

* Samsung Electorics Co Ltd Mobile Comm.

** Department of intelligent Mechanical Engineering,
Kumoh Institute of Technology

Corresponding Author :

Department of intelligent Mechanical Engineering,
Kumoh Institute of Technology

E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

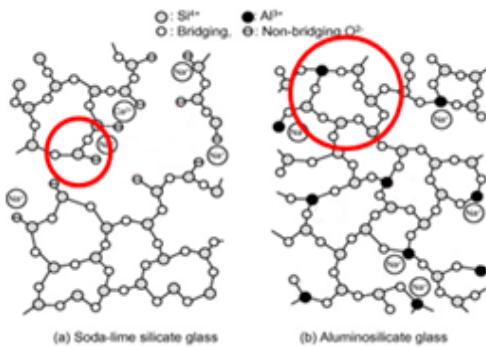


Fig. 1 The structure of binding



Fig. 2 Ion stuffing of sodium ions and potassium ions⁷⁾

Table 1 The Ingredient of Glass

Elements	SodaLime Glass		Gorilla Glass ⁸⁾
	NSG (%)	Asahi (%)	Corning (%)
SiO ₂	70.5	70.2	59.1
Al ₂ O ₃	1.64	1.72	16.8
Na ₂ O	13.3	13.4	14.1
K ₂ O	1.19	0.287	4.26
MgO	3.94	4.36	3.55
Rb ₂ O	0.0043	0.0025	-

유리의 화학 강화 강화하고자하는 유리를 높은 온도로 가열한 KNO₃(질산은)용액에 침지시켜 유리 표면의 Na(나트륨) 이온의 일부가 Na(나트륨)보다

분자 직경이 큰 K(칼륨) 이온으로 이온교환(치환)함으로써 유리 표면에 압축 응력층을 형성하여 유리 표면을 강화하는 것이다.⁵⁾⁶⁾ 본 연구에서 소다라임 글라스의 강화시간에 따른 강화깊이 DOL(Depth of layer)와 압축응력 CS(Compressed stress)관계와 강화온도에 따른 DOL과 CS의 관계에 대해 알아보고, 화학강화에 있어 DOL과 CS가 ball drop test, hole drop test 및 3점 굽힘 처짐량 test, 연속 낙하(Tumble test), drop test에 미치는 영향에 대해 알아보고 mobile device-용 소다라임 글라스의 최대 강성을 확보하는 인자에 대하여 검토하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편 제작

시험편은 GT-S6802 단말의 window glass로 선정하였다.

시험편은 0.7mm 소다라임 평판이며 형상가공은 NC로 제작되었다. 4" 사각의 코너가 둥근 형상으로 상단에 hole이 1개소, 하단에 hole 1개소 형성되어 있으며 GT-S6802 단말의 window glass에 화학강화를 하고 온도 범위를 390℃ ~ 450℃, 강화시간을 5 ~ 12시간으로 하였으며, KNO₃의 용액은 99%로 동일하게 유지하였다.

강화깊이 DOL (Depth of layer)과 압축응력 CS(Compressed stress) 측정은 Fig. 4와 같이 Ohihara FSM-6000⁹⁾ 장비를 이용하여 측정하였다. 특히 굴절

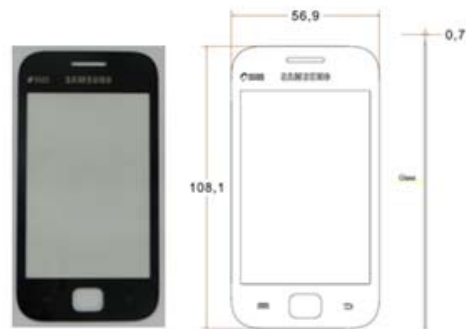


Fig. 3 Specimen : Photograph and drawing of GT-S6802 window glass



Fig. 4 Photograph of Ohihara FSM-6000

을 변화를 방지하기 위해 liquid Immersion 시약을 이용하였다.

2.2 실험방법

Ball drop test는 Fig.5(a)와 같이 지름 31.75mm, 무게 130g의 Steel ball을 사용하였으며 윈도우 시편을 고정용 Jig에 장착한 후 시편의 중앙부에 steel ball을 20cm의 높이에서 낙구시켜 시편의 파손여부를 확인하였다. 시편 수량은 10개로 하였다.

Hole drop test는 20cm높이에서 300g의 우레탄 추를 jig에 고정된 윈도우 시편 상단 및 하단의 hole 좌우측에 1회씩 낙구하였으며 낙구 후 윈도우 시편의 파손여부를 확인하였다. 시편의 수량은 동일하게 10개로 하였다.

3점 굽힘 시험은 Fig.6과 같이 만능재료시험기 (대경 Eng社 DUT-2TCM)을 사용하였으며 Span 길이는 40mm로 하고 중앙부가 파손될 때까지 가압하였다. 처짐량이



(a) Ball drop test jig



(b) Hole drop test jig

Fig. 5 Photographs of drop test jigs

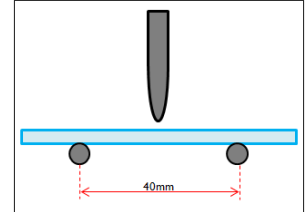


Fig. 6 3-Point bending tester¹⁰⁾



(a) Drop tester



(b) Tumble tester

Fig. 7 Drop and tumble tester

최소 2.29mm 이상인 상태로 합격여부를 판정하였다. 단말기(set) test인 drop test와 tumble test는 단품 test에 사용된 동일한 GT-S6802 윈도우 글라스를 단말기에 장착하여 진행하였다.

Drop test는 Fig. 7(a)와 같이 152cm 높이에서 단말기를 각면, 각 모서리, 각능 방향으로 총 19회 낙하하고 test 진행시 8대를 낙하하여 glass 파손여부를 확인하였다. 바닥은 SS400 재질의 철판을 이용하였다.

연속낙하 테스트(Tumble test)는 Fig.7(b)와 같이 4대의 단말기를 50cm의 높이에서 200회를 random 방향으로 자유낙하하고 100cm의 높이에서 100회를 추가로 random 방향으로 자유낙하한 후 단말기 glass의 파손여부를 확인하였다.

3. 실험결과

3.1 강화온도와 시간에 따른 CS/DOL 상관관계

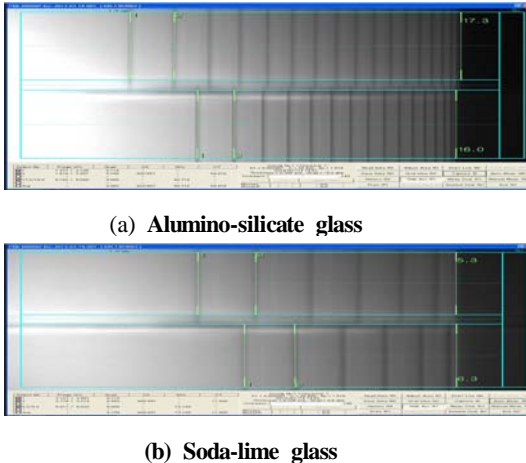


Fig. 8 Measurement Screen of glasses

Fig. 8은 글라스를 FSM-6000 장비로 표면 압축응력(CS)과 응력 깊이(DOL)을 측정화 화면이다.

Fig. 8의 측정 화면에서 보듯이 알루미노실리케이트 글라스의 압축 응력(820MPa)과 강화깊이(40.7 μ m)가 소다라임 글라스의 압축 응력(608MPa)과 강화깊이(13.1 μ m) 대비하여 높은 압축응력과 더 깊은 강화 깊이를 가짐을 알 수 있다.

이는 알루미노실리케이트 글라스가 소다라임 글라스 보다 이온 교환이 활발하여 강화가 더 잘됨을 나타낸다.

Fig. 9는 강화 온도에 따른 압축응력의 변화를 그래프로 표기한 것으로 강화온도가 상승함에 따라 표면 압축응력이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 강화시간을

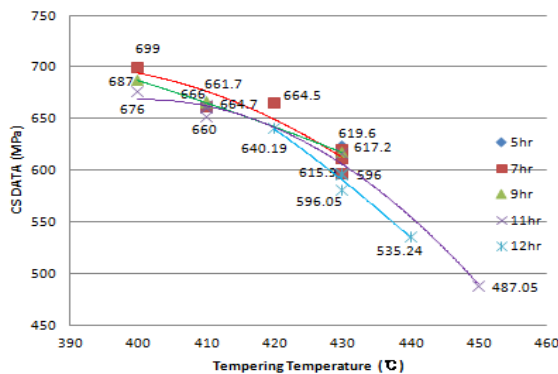


Fig. 9 Compress stress according to tempering temperature

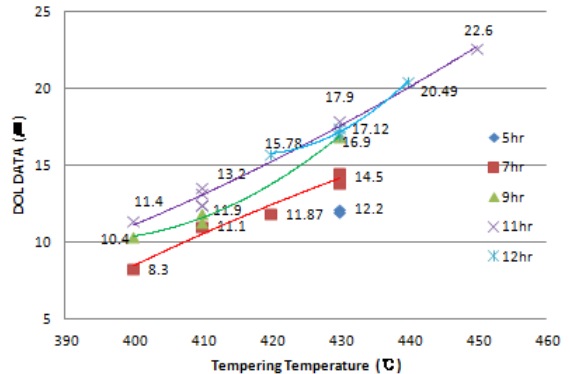


Fig. 10 DOL Values according to tempering temperature

달리해도 유사한 경향이 나오고 있음을 알 수 있다. 강화시간에 따른 압축 응력값은 각 온도대에서 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 10에는 강화온도에 따른 강화깊이(DOL)의 변화를 나타낸 것으로 강화온도의 상승에 따라 강화깊이 값도 상승하는 경향을 보이고 있어 강화시간이 길어짐에 따라 강화깊이도 깊게 강화됨을 알 수 있다.

3-2 Ball drop, Hole drop 및 3점 굽힘 처짐량 시험결과

Fig. 11은 각 강화 조건에 따른 CS/DOL data를 ball drop test 결과로 구분하여 나타낸 것으로 소다라임 글라스의 파손이 적게 일어나는 강화깊이는 8 μ m ~ 22 μ m, 표면 압축응력 구간은 480MPa ~ 670MPa 구간으로 나타났다.

Fig. 12는 각 강화조건에 따른 CS/DOL data를 hole drop test 결과로 구분하여 나타낸 것으로 소다라임 글라스 파손이 적게 일어난 강화깊이는 9 μ m ~ 22 μ m, 표면 압축응력은 530MPa ~ 700MPa구간으로 나타났다.

Fig. 13은 3점 굽힘시험 결과를 나타낸 것으로 3점 굽힘 시험 진행시 처짐량이 2.29mm이상 변형 후 파손발생된 결과를 Pass로 판정하고, 그 결과를 CS/DOL별로 그래프에 표기하였다. 3점굽힘 처짐량 시험에서 합격한 구간은 강화깊이 구간 9 μ m ~ 22 μ m, 표면 압축응력 520MPa ~ 670MPa 구간이었다.

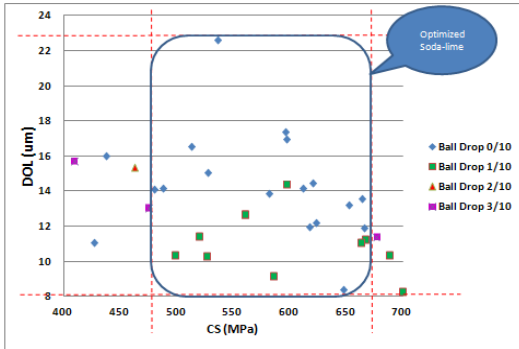


Fig. 11 Ball drop test results according to CS/DOL data

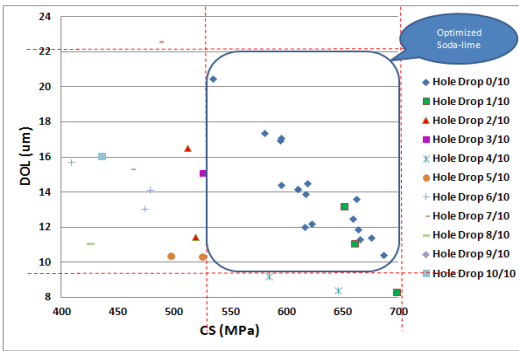


Fig. 12 Hole drop test results according to CS/DOL data

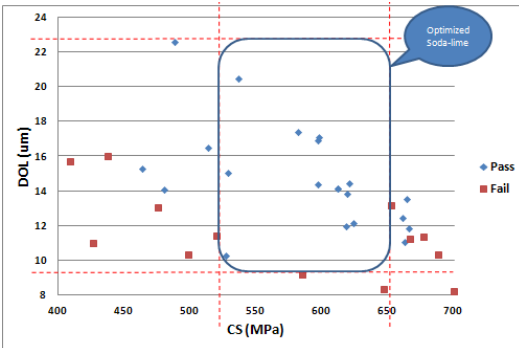


Fig. 13 3-Point bending test results according to CS/DOL data

3-3 Drop test 및 연속낙하 시험결과

Fig. 14는 각 강화조건에 따른 압축응력과 강화깊이

(CS/DOL) data를 drop test 결과로 구분하여 나타낸 것으로 drop test 결과는 강화 깊이 10 μ m ~ 22 μ m, 표면 압축 응력 530MPa ~ 660MPa 구간에서 윈도우 글라스 크랙 발생이 적었으며 일반적인 소다라임 강화 글라스 대비하여 drop test 결과 window crack 발생율이 기존 5/8 ~ 8/8 수준에서 1/8 ~ 2/8 수준으로 개선되었음을 알 수 있었다.

Fig. 15는 각 강화조건에 따른 압축응력과 강화깊이 (CS/DOL) data를 연속 낙하 테스트 (Tumble test) 결과로 구분하여 나타낸 것으로 tumble test는 강화 깊이 12 μ m ~ 22 μ m, 표면 압축 응력 530Mpa ~ 660MPa 구간에서 윈도우 글라스 크랙 발생이 적었으며 일반적인 소다라임 강화 글라스 대비하여 연속 낙하 시험 결과 window crack 발생율이 기존 1/4 ~ 4/4 수준에서 0/4 ~ 1/4 수준으로 개선된 또한 알 수 있었다.

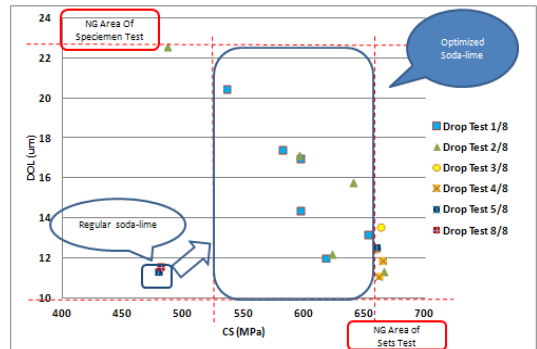


Fig. 14 Drop test results according to CS/DOL data

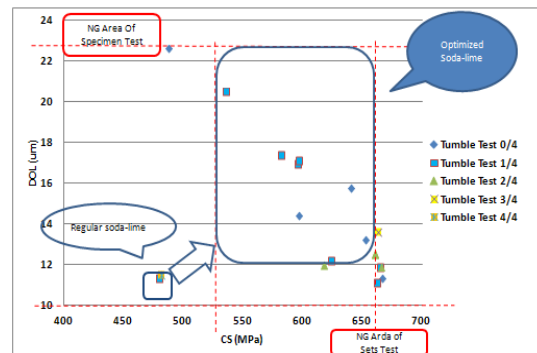


Fig. 15 Tumble test results according to CS/DOL data

4. 고찰

Fig. 16은 강화온도와 시간에 대한 압축응력과 강화깊이(CS/DOL) 값을 나타낸 그래프로 좌측 축은 CS값을, 우측 축은 DOL 값을 나타내었다. 강화 온도가 올라감에 따라 CS값은 감소하고, DOL 값은 증가하는 경향을 보인다. Glass 단품 test인 hole drop test, ball drop test, 3점굽힘 시험 결과에서 나타난 강화 깊이와 표면 압축 응력 범위와 Set test인 비포장 낙하, 연속 낙하 test 결과에서 나타난 강화 깊이와 표면 압축 응력 범위의 교집합을 구해보면 강화 깊이는 12 μ m ~ 22 μ m이고, 표면 압축 응력의 범위는 530MPa ~ 660MPa로 나타났다.

이 교집합의 범위를 Fig. 16에 대입해보면 강화 깊이 12 μ m 연장선과 강화 시간 7hr 그래프가 교점을 가지고 이때의 강화 온도는 418 $^{\circ}$ C이며 22 μ m 연장선과 강화 시간 11hr 그래프가 교점을 가지고 이때의 강화 온도는 448 $^{\circ}$ C이다. 같은 방법으로 표면 압축 응력 530MPa 연장선과 660MPa의 연장선을 CS 그래프와 만나는 교점을 확인해보면 408 $^{\circ}$ C, 444 $^{\circ}$ C의 강화온도를 찾을 수 있다.

두 조건을 만족하는 강화 온도의 범위를 다시 확인해보면 418 $^{\circ}$ C ~ 444 $^{\circ}$ C 범위를 가지며 이때의 강화 시간은 7hr ~ 11hr로 나타난다.

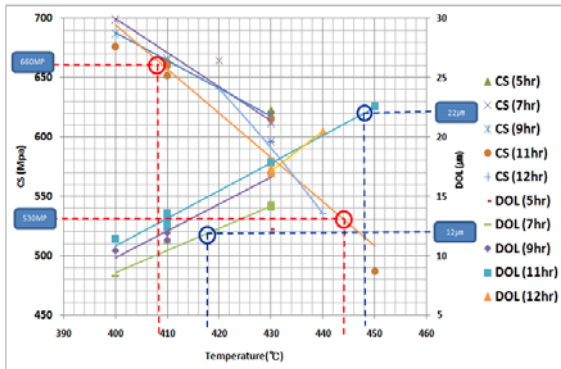


Fig. 16 CS/DOL results according to tempering conditions.

5. 후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의한 결과입니다. 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

6. 결 론

모바일 윈도우용 소다라임 글라스를 이온 강화할 때, 온도와 시간에 따른 강화깊이와 압축응력의 영향에 대한 시험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 강화 온도에 따라 강화깊이와 압축응력은 상보성을 갖는다.

2. 강화온도 증가에 따라 강화깊이는 증가하고 압축응력은 감소함을 알 수 있었다.

3. 강화시간에 따라 압축응력은 그다지 변화되지 않았으나 강화깊이는 증가되었다.

4. 소다라임 윈도우 글라스의 화학강화에 있어서 ball drop test, hole drop test 및 3점 굽힘 처짐량, drop test, 연속낙하 시험에서 파손이 적게 일어나는 강화깊이와 표면압축응력 구간은 12 μ m ~ 22 μ m, 530MPa ~ 620MPa로 나타났으며 이때의 이온강화시간은 7hr ~ 11hr강화, 강화온도는 418 $^{\circ}$ C ~ 444 $^{\circ}$ C에서 구해졌다.

상기 결과로 얻어진 data를 활용하여 화학 강화된 소다라임 글라스를 고가의 알루미늄실리케이트 계열의 글라스를 대신하여 mobile device에 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. B.H. Kim, Glass technology, Cheong Moon Gak Publishing, pp.146, 2010
2. Asahi Float Glass (2013), http://www.agc.com/english/products/products_01.html#a07 (accessed 10, May., 2013)
3. C.K. Lee, I.S. Kim, "A Study on the Glass Strengthened in Salt Solution by Chemical Ion Exchange", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol 24, No. 4, pp.335 ~ 342, 1987.
4. An investigation into the industrial competitiveness of smart glass, KICET KTC, pp.67, 2010.
5. Corning Glass Works : Brit. Pat. 966731
6. D.I. Lee, Y.K. Lee, H.S. Lee, "Characterization of Glasses by Ion-Exchange(I): Ion Exchange Behavior" Journal of the Korean Ceramic Society Vol. 25, No.3, pp. 237 ~ 242, 1988

7. Corning Gorilla Glass (2013), <http://www.corninggorillaglass.com> (accessed 10, May., 2013)
8. Corning Gorilla TM Glass Brochure
9. Orihara FSM-6000LE (2013), <http://www.orihara-ss.co.jp/> (accessed 16, May., 2013)
10. ASTM Standard C-158, West Conshohocken, Pa.
11. Study on Sodamine glass strengthening technology with ion change (1), Proceeding of the KSMPE Autumn Conference 2013, 2013.11, 49 (1 page)
12. Study on Sodamine glass strengthening technology with ion change (2), Proceeding of the KSMPE Autumn Conference 2013, 2013.11, 142 (1 page)
13. Study on Sodamine glass strengthening technology with ion change (3), Proceeding of the KSMPE Autumn Conference 2013, 2013.11, 143 (1 page)
14. A Study on Cutting Behavior of Strengthened Glass for Touch Screen Panel, Proceeding of the KSMPE Autumn Conference 2010, 2010.11, 145-146 (2 pages)