

貯藏相對湿度에 따른 糖과 소금 二相混合物의 吸湿特性

吳勳一 · 金友政 · 朴來正*

세종대학 식품공학과, *홍익대학교 공과대학 화학공학과
(1982년 9월 13일 수리)

Sorption Characteristics of Binary Mixture of Sugar and Sodium Chloride

Hoon Il Oh, Woo Jung Kim and Nae Jung Park*

Department of Food Science & Technology, King Sejong University, Seoul 132,

*Department of Chemical Engineering, College of Engineering,

Hong-ik University, Seoul 121

(Received September 13, 1982)

Abstract

A study was designed to investigate the sorption characteristics of binary mixtures of NaCl and sucrose or glucose stored at various relative humidities ranging from 46% to 92%. At low relative humidity below RH 65%, the sorption equilibrium was easily achieved, whereas at higher relative humidity values over 73%, all of the mixtures tended to continuously absorb moisture with increase in storage time. A linear equation of $\log\left(\frac{dw}{dt}\right) = a \log(t) + \log(b)$ was found to be valid between the sorption rate and storage time with respect to storage humidities. In sucrose-NaCl mixture, the slope showed a increasing tendency as the percentage of NaCl increased in the mixture, while that of glucose-NaCl mixture failed to show a definite trend. Plateaus were obtained when the amount of water absorbed was plotted on the X axis and the percent composition of mixture on the Y axis at different storage time. The shape of plateau was varied with respect to the kind of sugar-NaCl mixture, composition of the mixture and relative humidities. A linearity was found between $\log(1-A_w)$ and the amount of water absorbed over the A_w range 0.73-0.92 and the slope was affected by the kind and composition of sugar-NaCl mixtures.

序 論

水分活性度(water activity, A_w)는 식품의 안정성에 영향을 미치는 가장 중요한要因中的 하나로 오랫동안 알려져 왔으며, A_w 와 微生物 生育과의 관계, 食品成分의 化學反應 kinetics 및 기타 品質要因과의 관계에 대하여, 많은 研究가 행하여져 왔다^(1~3). 이러한 研究의 結果는, 현재 乾燥食品 및 中間水分食品의 貯藏條件을 선정하는데 매우 유용하게 널리 利用되고 있다.

또한, A_w 의 物理的 側面에 대해서도 상당한 관심을 가져, 특히 hygroscopic性質과 凝結 및 stick하는 경향이 있는 糖을 含有한 食品에 대하여 많은 研究가 행하여지고 있는바, 이러한 문제는 특히 乾燥粉末 肉類에서 심각한 것으로 lactose가 結晶化하여 물을 放出하므로써 caking 現象을 일으키기 때문이다⁽⁴⁾. 또한 instant soups, drink powders 및 cake와 ice cream mixes와 같은 많은 粉末食品은 상당한 量의 結晶狀態의 소금과 糖을 含有하고 있다.

이들 食品原料의 水分吸湿特性에 관한 지식⁽¹⁾은 混

合物에서 水分의 移動方向을 알수없어 製品의 formulation을 開發하는데 매우 유용하며⁽²⁾, 乾燥食品이나 mix를 저장할 때 바람직스럽지 못한 物理的 化學的 및 微生物학적 變化가 발생하는 것을 예측할 수 있고⁽³⁾, 貯藏安定性的 最適條件을 찾기위한 적절한 包裝材料의 선택에 도움을 준다⁽⁵⁾. Iglesias등^(6,7)은, 설탕과 같은 粒相食品을 상대습도와 온도를 달라하여 저장하였을 때에 낮은 상대습도(37.5%이하)에서는 단시간내에 平衡 水分含量에 도달하였으나, 상대습도와 온도가 증가함에 따라(37.5%, 35°C; 24.5%, 47°C) 최대수분 함량에 도달한 후, 저장시간이 증가함에 따라 감소하였다고 보고하였으며, Brockmann⁽⁸⁾은 설탕, 소금과 glycerol의 混合比率을 달리하였을때의 A_w 變化를 觀察하였는바, 100g설탕을 함유한 용액의 A_w 를 0.85에서 0.90으로 증가시키는데 22g의 물이 필요하였으나 glycerol과 소금용액은 훨씬 많은 물을 필요로 하였다.

最近에 Lang과 Steinberg⁽⁹⁾는 전분, 설탕 및 소금의 混合比率에 따른 binary 또는 ternary mixture의 A_w 를 예측할 수 있는 方程式을 發表하였다.

本 研究에서는, 食品의 添加物로 重要하며 또한 많이 사용되는 소금과 설탕 또는 glucose를 各 比率別로 混合하여, 각기 다른 相對湿度에 貯藏하였을 때의 吸湿度, 吸湿水分量 및 A_w 의 變化를 貯藏期間別로 측정하여, 이들의 相關關係를 究明하고자 한다.

材料 및 方法

試料

本 실험에 사용한 試料는 粉末 NaCl, sucrose 및 glucose로, NaCl은 和光純藥株式會社 製品으로 수분함량이 0.0033%이였으며, sucrose는 DIFCO Laboratories에서 製造한 것으로 水分含量 0.0055% 이었고, glucose는 日本 Osaka モツダ 化學株式會社에서 구입한 것으로 水分含量이 0.6923%이었다.

貯藏溫度 및 吸湿速度的 測定

糖과 소금의 各 比率別 混合時에는 시료를 mortar에서 손으로 완전히 混合한 후 약 3g을 25ml 비이커에 넣은 후, 이것을 Rockland⁽¹⁰⁾ 및 Willmer⁽¹¹⁾의 方法에 準하여 만든 각종 포화염용액(KCNS, MgNO₃, Na₂NO₂, NaAc, (NH₄)₂SO₄ 및 NH₄H₂PO₄)을 Polyacryl moisture-chamber (가로21cm, 세로15cm, 높이21cm)에 넣어 밀봉하여 20°C를 유지한 恒溫室에서 저장하면서 상대습도 46%, 52%, 65%, 73%, 80% 및 92%를 유지하였다. 시료를 經時的으로 꺼내 무게를 칭량하여 흡습수분량을 구하였고, 흡습속도는 저장 시간에 따른 무

게의 變化로 산출하였다⁽¹²⁾

結果 및 考察

貯藏期間에 따른 水分含量의 變化

糖과 소금의 混合比率을 달리한 各混合物의 저장시간중 吸湿으로 因한 水分含量의 變化는 混合物의 種類 및 混合比率에 따라 또한 貯藏相對湿度에 따라 그 樣相이 相異하였으며, Fig. 1은 glucose와 NaCl(80:20) 혼합물의 흡습곡선으로 전형적인 흡습곡선을 보여주고 있다.

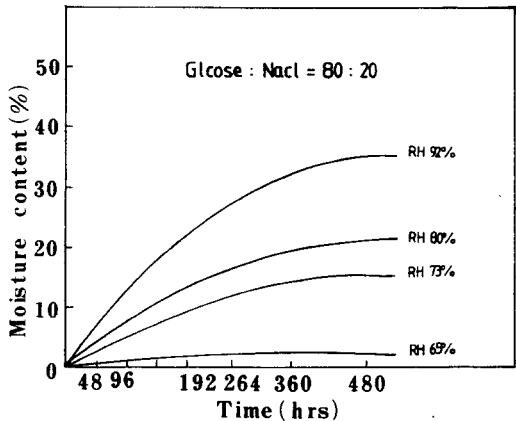


Fig. 1. Time course in moisture contents of sucrose-glucose moisture (80:20) at various relative humidities

糖과 소금 혼합물의 흡습곡선은 일반적으로 다른 乾燥食品과는 달리 initial slope가 매우 완만하였으며, RH 65%에서는 흡습량이 매우 적어 短時間內에 平衡에 도달하였으나, RH 73% 이상에서는 저장 기간이 증가함에 따라 吸湿量이 계속 증가하였다. 이는 저장 RH 가 높아질수록 平衡에 도달하는데 많은 時間이 소요됨을 의미하며, 全등⁽¹²⁾의 고추가루저장과 朴등⁽¹³⁾의 紅蔘製品貯藏時에도 비슷한 경향을 나타내었다.

實際로 乾燥食品이나 中間水分食品 또는 instant food powders등은 그 流通過程에서 비교적 높은 相對湿度에서 장시간 저장해야 하므로 製品의 品質을 安定하게 유지하기 위하여는, 제품별로 저장습도와 저장시간과의 관계를 규명하여 적절한 原料의 混合時的 조건 및 포장방법을 모색해야 할것이다.

混合物別 貯藏時間과 吸湿速度

既知組成의 多成分食品에 대한 等溫吸湿(water sorption isotherm)을 예측하는 많은 數式이 제안되었으나⁽¹⁴⁻¹⁷⁾, 이들 方程式에서는 吸湿速度的 개념이 포함되어

있지 않아 貯藏中 水分含量的 變化와 平衡水分 含量에 도달하는 시간을 알 수 없다는 단점이 있다. 最近에 全 등⁽¹²⁾은 貯藏시간과 吸濕速度와의 關係를 兩對數座標에 도시하여 얻은 여러개의 直線들로부터 다음과 같은 關係식을 얻었다고 보고하였다.

$$\log\left(\frac{dw}{dt}\right) = a \log(t) + \log(b)$$

여기에서 w 는 吸濕量(%), t 는 貯藏시간, a 와 b 는 直線의 기울기 및 절편의 값으로 貯藏 RH%에 따라 결정되어지는 常數이다.

本 實驗에서는 얻은 各 混合物別 吸濕結果를 상대습도별로 吸濕速度와 貯藏시간과의 關係를 全 등⁽¹²⁾의 方法에 따라 兩對數座標에 도시한 結果의 예는 Fig. 2 및

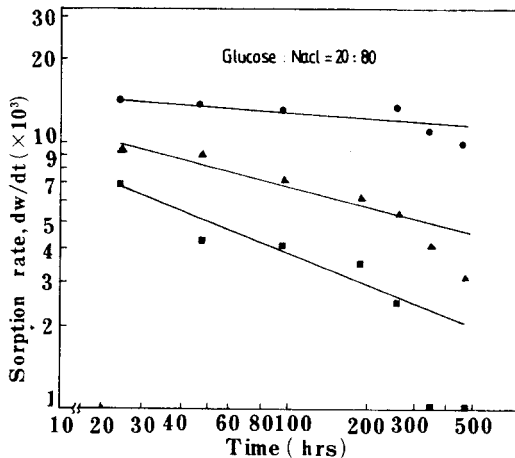


Fig. 2. The changes of sorption rate of sucrose-NaCl mixtures (80:20) during storage at 20°C

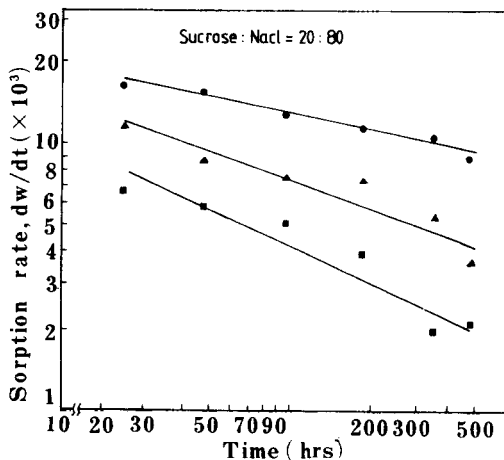


Fig. 3. The changes of sorption rate of glucose-NaCl mixture (80:20) during storage at 20°C

Fig. 3과 같으며, 吸濕速度 公式에 의하여 계산한 sucrose-NaCl 混合物 및 glucose-NaCl 混合物의 a 와 b 및 상관관계계수(r)는 Table 1과 같다.

Sucrose와 NaCl을 80:20 및 60:40으로 混合한 混合物의 경우 RH 80%에서 Slope가 가장 컸으나, NaCl의 混入含量%가 增加됨에 따라 RH가 낮을수록 slope가 급속히 커졌으며, NaCl의 含量이 增加할수록 일반적으로 slope가 커지는 경향을 보였다. (Table 1) 여기서 slope가 커진다는 것은 평형에 도달하는 시간이 빠르다는 것을 의미하여 mole 對 mole base로 비교하여 볼 때 NaCl이 sucrose보다 A_w 를 낮추는데 더 효과적이라는 보고⁽¹⁸⁾와 일치된다고 생각된다. 한편 glucose와 NaCl混合物의 경우에는 NaCl의 含量이 40% 및 60% 混合物에서는 NaCl의 含量이 증가함에 따라 各 해당相對湿度에서의 Slope가 커졌으나, NaCl의 含量이 20% 및 80%에서는 뚜렷한 경향을 보여주지 않았다. 한편, sucrose-NaCl混合物과 glucose-NaCl混合物를 비교할 때 slope a 는 glucose-NaCl의 混合物가 일반적으로 컸으나, 절편 b 의 값은 NaCl의 混入含量%에 따라 달라 40% NaCl含量的 경우는 sucrose-NaCl混合物가 컸고 그 외의 NaCl含量에서는 glucose-NaCl混合物가 컸다.

糖과 소금混合系の 吸濕曲線

一般的으로 有機化學物質은 外氣와 접촉할 경우, 一定한 溫度와 湿度下에서 特有的 吸濕性을 나타내나 糖(結晶설탕 또는 포도당)과 소금을 混入한 混入系에서는 吸濕性이 변하는 아주 흥미있는 吸濕性을 나타내고 있다. 糖과 소금混合物의 상대습도 및 混入比率에 따른 吸濕量을 상대습도별 및 貯藏시간 별로

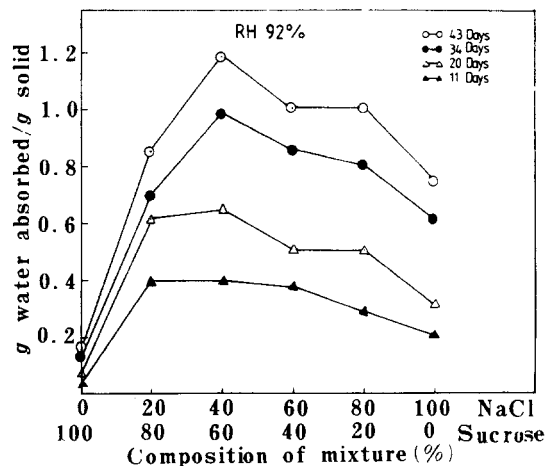


Fig. 4. Changes in water absorption of sucrose-NaCl mixtures as affected by composition of mixture during storage at RH 92% and 20°C

圖示한 결과는 Fig. 4 ~ 9 와 같다. Sucrose-NaCl 混合物의 경우 RH 92%에서 貯藏하면서 混合比率에 따른 吸湿량을 살펴보면(Fig. 4) 20日 貯藏時 NaCl은 乾物 g당 0.315g을 吸湿한 반면 sucrose는 0.07g을 吸湿하였으나, sucrose : NaCl = 80 : 20 混合物의 경우 약 0.61g을 흡습하여 개개化合物의 吸湿량의 合보다 훨씬

많은 수분을 吸湿하였다. 이러한 現象은 混合比率에 관계없이 全 混合系에 나타나고 있는데, 특히 주목할만한 것은 40% NaCl 混入区를 頂點으로 最大吸湿量을 나타내었으며 NaCl의 混入比率이 40%보다 增加함에 따라 混合物의 吸湿량이 減少하는 경향을 보였다. RH 80% 貯藏区(Fig. 5)의 경우 混合物의 吸湿량이 RH

Table 1. Data calculated by sorption rate equations of sucrose-NaCl and glucose-NaCl mixtures

Composition of mixture (%)	Relative Humidity (%)	a *	b **	Correlation coeff. (r)
Sucrose : NaCl (80 : 20)	92	-0.0822	1.3408	0.8793
	80	-0.1137	1.1305	0.6559
	73	-0.0816	0.8850	0.9176
Sucrose : NaCl (60 : 40)	92	-0.1132	1.4092	0.9389
	80	-0.2360	1.4049	0.8990
	73	-0.1812	1.1703	0.9526
Sucrose : NaCl (40 : 60)	92	-0.1386	1.4288	0.9639
	80	-0.1729	1.2568	0.9202
	73	-0.2147	1.1742	0.9771
Sucrose : NaCl (20 : 80)	92	-0.1863	1.4455	0.9526
	80	-0.1831	1.0993	0.8510
	73	-0.3377	1.3308	0.9612
Glucose : NaCl (80 : 20)	92	-0.2674	1.6375	0.8674
	80	-0.3307	1.4582	0.8790
	73	-0.2603	1.2185	0.8741
Glucose : NaCl (60 : 40)	92	-0.0905	1.3093	0.6962
	80	-0.2092	1.1997	0.8529
	73	-0.3599	1.3087	0.9485
Glucose : NaCl (40 : 60)	92	-0.1576	1.4725	0.8932
	80	-0.4349	1.6363	0.9680
	73	-0.4185	1.4244	0.9254
Glucose : NaCl (20 : 80)	92	-0.1891	1.5017	0.9683
	80	-0.3279	1.5250	0.9342
	73	-0.3464	1.3370	0.9407

*Slope of sorption rate equation

**Intercept of sorption rate equation

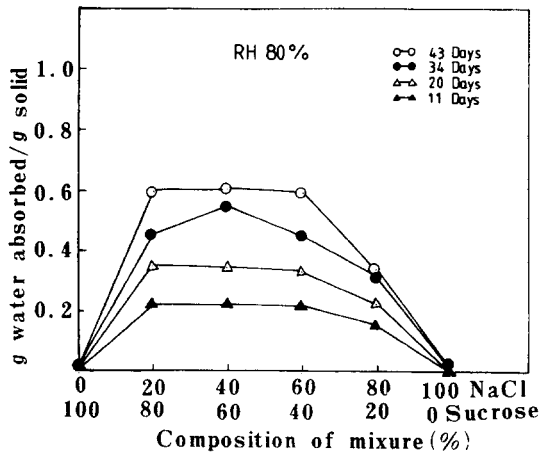


Fig. 5. Changes in water absorption of sucrose-NaCl mixtures as affected by composition of mixture during storage at RH 80% and 20°C

93%에 비해 약 절반으로 줄었으며, 20日 저장하였을 때 일반적으로 NaCl 20%와 60%사이의 混入系의 最大吸濕量 범위를 보여 plateau의 모양을 보이고 있다. 이러한 현상은 RH 73%에서도 유사한 결과를 보였다 (Fig. 6).

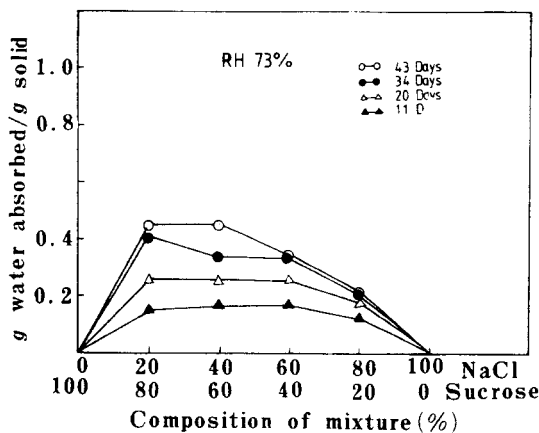


Fig. 6. Changes in water absorption of sucrose-NaCl mixtures as affected composition of mixture during storage at RH 73% and 20°C

일반적으로 糖類가 水分을 吸收하기 시작하는 것은 그 糖의 表面이 飽和溶液이 되었을 때 갖는 蒸氣壓이 外氣中 水蒸氣의 分壓보다 낮을 때 비로소 吸濕이 시작된다. 그러나 물에 녹기 쉬운 糖과 NaCl을 混合할 경우, 接觸하는 RH의 變化에 따라서 結晶表面에 附着한 極少量의 水分이 兩者의 共存飽和溶液을 形成하여 結晶糖 또는 소금 單獨의 飽和溶液보다 全濃도가 높고 또 蒸氣壓이 작아 吸濕性이 增大된다고 생각된다.

한편, 結晶설탕과 結晶포도당의 混入系 (Fig. 7~9)에서도 비슷한 樣相을 나타내어 RH 92%에 저장한 glucose-NaCl 混入系의 경우, 11日 貯藏時에는 20% NaCl 混入區가 20日 저장구에서는 40% NaCl 混入區가 34日 및 43日 저장구에서는 60% NaCl 混入區를 頂點으로 하여 最大吸濕量을 나타내었고, 그 외의 NaCl 混入系에서는 점차 吸濕량이 감소하였다 (Fig. 7).

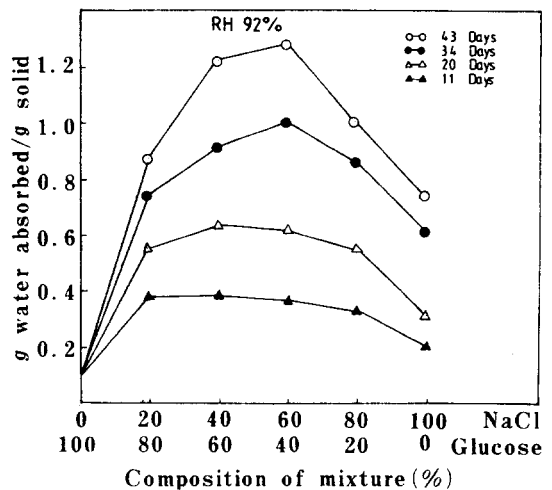


Fig. 7. Changes in water absorption of glucose-NaCl mixtures as affected by composition of mixture during storage at RH 92% and 20°C

이와 대조적으로, RH 80% 및 RH 73% 저장구 (Fig. 8, Fig. 9)에서는 NaCl混入%가 뚜렷한 경향을 나타내지 않고, 전반적으로 plateau의 樣相을 나타냈다. 이것은 glucose-NaCl 混入系의 경우 貯藏 RH가 낮을수

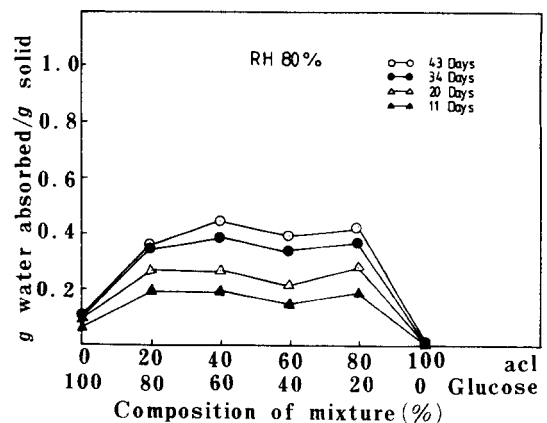


Fig. 8. Changes in water absorption of glucose-NaCl mixtures as affected by composition of mixture during storage at RH 80% and 20°C

두 glucose와 NaCl의 混入%보다 저장상대습도가 더
큰 吸濕樣相에 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

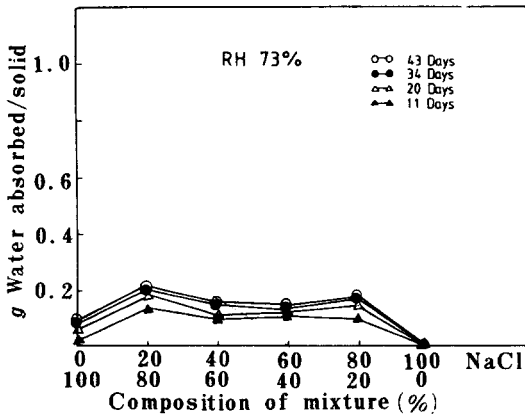


Fig. 9. Changes in water absorption of glucose-NaCl mixtures as affected by composition of mixture during storage at RH 73% and 20°C

Aw와 吸濕水分量과의 관계

最近 Lang과 Steinberg⁽²⁰⁾는 Smith plot⁽²¹⁾을 改良하여 $M = a + b \log(1 - aw)$ 라는 公式를 發表하였다. 여기서 M은 水分含量, a는 절편, b는 slope로 半對數座標의 X軸에 $\log(1 - Aw)$ 를 plot하고 Y軸에 M을 plot할 때 炭水化合物 蛋白質과 같은 均일한 macromolecule 및 糖 또는 소금과 같은 溶質의 吸濕data가 Aw 0.30~0.95 사이에서 直線의인 관계가 있음을 증명하였다.

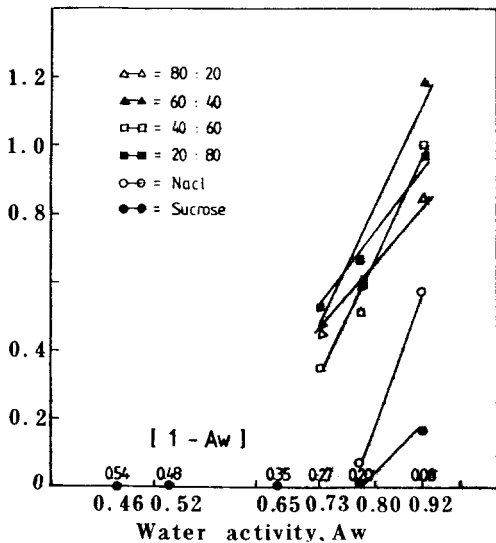


Fig. 10. Regression lines for the linear sorption isotherms at 20°C for sucrose-NaCl mixture over Aw 0.73~0.92

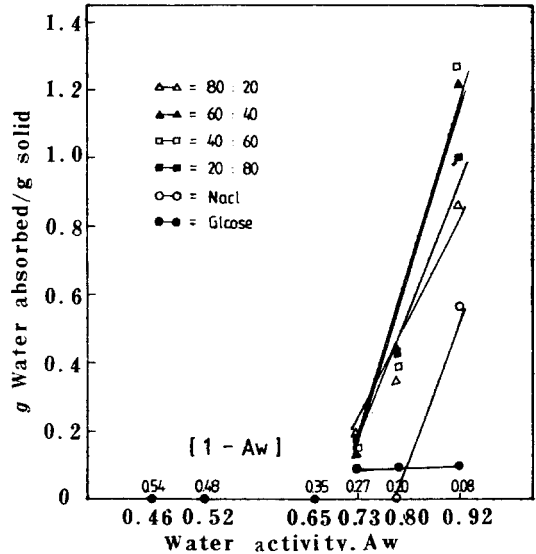


Fig. 11. Regression lines for the linear sorption isotherms at 20°C for glucose-NaCl mixture over Aw 0.73-0.92

糖과 소금混合物이 각 相對湿度에서 平衡水分含量에 도달했을 때의 Aw와 吸濕水分량을 Lang과 Steinberg의 方法⁽²⁰⁾에 따라 도기한 結果는 Fig. 10 및 Fig. 11과 같으며 Smith plot의 slope a와 절편 b 및 직선의 相關係數(r)은 Table 2와 같다.

Glucose와 glucose-NaCl 混合物 Aw 0.65까지 소금 單獨은 Aw 0.80까지 거의 吸濕을 하지 않았으나, glucose-NaCl 混合物은 Aw 0.73보다 吸濕이 急增하였다. 吸濕이 급격히 증가하기 시작한 Aw를 飽和 Aw (saturation Aw)라 하여 Lang과 Steinberg⁽²⁰⁾는 glucose와 NaCl의 飽和 Aw가 각각 0.900 및 0.755라고 報告 하였다. 本 實驗에서의 소금의 飽和 Aw는 0.80으로 Lang 및 Steinberg의 結果와 비슷하였으나, glucose의 Aw는 0.73으로 相異하였다. 이는 實驗에 使用한 glucose의 순도 및 顔粒狀態가 다르기 때문인 것으로 생각된다. glucose와 NaCl의 混合物이 Aw 0.65 이하에서는 吸濕을 하지 않다가 Aw 0.73이상에서 吸濕량이 급증한 것은 이 Aw에서 糖과 소금 混合物의 結晶性이 變換한것에 起因한 것으로 추측된다. 結晶性은 糖類의 吸濕에 重大한 영향을 미쳐 結晶이 變形되거나 膨潤되면 binding site가 增加하고 bond energy가 낮아져 吸濕이 增加된다고 알려져 있다^(22,23). 한편, 흡습물질의 성질을 나타내는 slope b는 glucose와 NaCl의 混入比率에 따라 달랐으며, glucose:NaCl=40:60에 slope가 가장 커 이 混合物의 吸濕하는 性質이 큰 것을 의미하며, glucose와 NaCl을 80:20으로 混入하였을 때 slope

Table 2. Smith plot parameters of sorption isotherm at 20°C for glucose-NaCl and sucrose-NaCl mixtures

Composition of mixtures (%)	Intercept a	Slope b	Correlation coeff. (r)	
Glucose:NaCl	100 : 0	0.098	-0.013	0.999
	80 : 20	-0.813	-1.727	0.996
	60 : 40	-1.451	-2.758	0.983
	40 : 60	-1.559	-2.909	0.992
	20 : 80	-1.120	-2.278	0.999
	0 : 100	-1.688	-2.520	1.000
Sucrose:NaCl	100 : 0	-1.688	-2.520	1.000
	80 : 20	-0.127	-1.017	0.999
	60 : 40	-0.619	-1.847	0.987
	40 : 60	-0.744	-1.857	0.994
	20 : 80	-0.182	-1.243	0.999
	0 : 100	-1.688	-2.520	1.000

가 가장 적어 吸湿을 가장 적게하는 경향을 나타내었다. 또한 sucrose와 NaCl의 混合物에서도 glucose-NaCl과 비슷한 경향을 나타내어 sucrose : NaCl=40 : 60의 slope가 가장 높고, sucrose와 NaCl을 80 : 20으로 混合하였을 때 slope가 가장 적었다. 이 흡습성질의 차이는 糖과 소금의 混合比率에 따른 混合物의 개개성분 각각의 集困的인 吸湿性質(collective hygroscopic properties)을 나타내기 때문이라고 생각된다.

要 約

Sucrose 또는 glucose와 NaCl을 混合比率를 달리 하여 RH 46%에서 92%까지 6 단계의 相對湿度別로 20°C에서 貯藏하면서, 各 混合物의 吸湿特性을 調査한 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 貯藏時間에 따른 糖과 소금 混合物의 吸湿曲線은 初期의 吸湿速度가 매우 완만하였으며 RH 65%에서는 吸湿量이 매우 적어 平衡에 빨리 도달하였으나, RH 73%이상에서는 吸湿速度가 증가하였을 뿐만 아니라 저장기간이 增加함에 따라 吸湿量이 계속적으로 증가하였다.

2. 貯藏時間과 吸湿速度간에는 $\log\left(\frac{ds}{dt}\right) = a \log(t) + \log(b)$ 의 직선관계식이 성립되었으며, Sucrose와 NaCl혼합물의 경우에는 소금 混入量이 增加함에 따라

一般的으로 slope가 커지는 경향을 보였으나, glucose와 NaCl混合物에서는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

3. 糖과 소금混合物의 混合比率 및 貯藏期間에 따른 吸湿水分量은 plateau의 모양을 보였으며, 이 plateau의 樣相은 混合物의 種類 및 混合比率 또는 相對湿度에 따라 각각 相異하였다.

4. $\log(1 - A_w)$ 와 吸湿水分量은 A_w 0.73~0.92 사이에 직선적인 관계가 成立되었으며, 이때 slope는 混合物의 種類 및 混合比率에 따라 相異하였으나 糖과 NaCl의 混合比率가 40 : 60일 때 最大의 slope를 보여 가장 큰 混合性質을 나타냈다.

문 헌

1. Karel, M. : in *Principles of Food Preservation*, Part II (Karel, M. Fennema O.R. and Lund, D., eds), Marcel Dekker Inc., New York (1957)
2. Schwimmer, S. : *Food Technol.*, **34**, 64 (1980)
3. Troller, T.A. : *Food Technol.*, **34**, 76 (1980)
4. Berlin, E., Anderson, B.A. and Pallanch, M. J. : *J. Dairy Sci.*, **51**, 1330 (1968)
5. Smith, D. S., Mannheim, C. H. and Gilbert, S. G. : *J. Food Sci.*, **46**, 1051 (1981)

6. Iglesias, H. A., Chirife, J. and Lombardi, J. L. : *J. Food Technol.*, **10**, 385 (1975)
7. Iglesias, H. A., Chrife, J. and Viollaz, P. : *J. Food Technol.*, **12**, 505 (1977)
8. Brockmann, M. C. : *Food Technol.*, **24**, 60 (1970)
9. Lang, K. W. and Steinberg, M. P. : *J. Food Sci.*, **46**, 670 (1981)
10. Rockland, L. B. : *J. Food Res.*, **22**, 23 (1957)
11. Willmer, A. W. : *Ind. Chem. Eng. Anal. Ed.*, **18**, 251 (1946)
12. 金在根, 徐挺植 : 韓國農化學會誌, **23**, 1 (1980)
13. 朴吉童, 金友政, 崔鎮浩, 梁宰源, 成絢淳 : 高麗人蔘學會誌, **5**, 1 (1981)
14. Henderson, S. M. : *Agric. Eng.*, **33**, 29 (1952)
15. Rockland, L. B. : *Food Res.*, **22**, 604 (1957)
16. Norvish, R. S. : *J. Food Tech.*, **1**, 25 (1966)
17. Ross, K. D. : *Food Tech.*, **29**, 26 (1975)
18. Chirife, T., Boquet, R. and Iglesias, H. A. : *Lebensm-Wiss. n. Technol.*, **12**, 150 (1979)
19. Troller, J. A. and Christian, J. H. B. : in *Water Activity and Food*, Academic Press, New York p.189 (1978)
20. Lang, K. W. and Steinberg, P. : *J. Food Sci.*, **46**, 1450 (1981)
21. Smith, S. E. : *J. Am. Chem. Soc.*, **69**, 646 (1947)
22. Makower, B. and Dye, W. : *J. Agric. Food Chem.*, **4**, 79 (1956)
23. Lang, K. W. and Steinberg, M. P. : *J. Food Sci.*, **45**, 12228 (1980)