

## 반응표면분석법에 의한 비동결 파운드 케이크의 최적 배합비 설정

강병선<sup>†</sup> · 이영춘<sup>1</sup>

영동대학교 와인발효식품학과, <sup>1</sup>중앙대학교 식품공학과

### Use of Response Surface Methods to Optimize the Formula of Non-frozen Pound Cake

Byung-Sun Kang<sup>†</sup> and Young-Chun Lee<sup>1</sup>

Department of Food Fermentation Technology, Young-Dong University, Yeongdong 370-701 Korea

Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Ansung 456-756 Korea

#### Abstract

The optimal formula for non-frozen pound cake was sought using a central composite design with a quadratic model, by response surface methodology (RSM). Behavior on supercooling, freezing time, rheological properties, and sensory attributes of pound cake were studied by using various concentrations of sugar, sorbitol, and glycerol. The freezing temperature of standard pound cake was  $-16.16^{\circ}\text{C}$ . The hardness, freezing point temperature, and sensory properties were shown as a quadratic relationship, whereas moisture content was analyzed by a linear model. Optimized formula for non-frozen cake were suggested to include (sugar:sorbitol:glycerol) 77.6:0.0:20.4, 60.0:32.8:16.4, and 70.8:11.2:19.6 (all % of total sugar) by RSM. The freezing times of optimized non-frozen pound cake were reduced by 27~45%. The freezing points of optimized pound cake were depressed below  $-20^{\circ}\text{C}$ . Sorbitol and glycerol may be used as cryoprotectants and preserve the desired sensory attributes of pound cake at low temperatures.

**Key words :** supercooling, pound cake, freezing point, response surface methods (RSM)

#### 서 론

식품을 보존하는 방법으로 냉동은 식품품질을 장기간 유지할 수 있는 우수한 방법 중의 하나이다. 냉동저장은 저장기간이 장기간이 가능한 장점이 있으나 동결에 의한 품질저하 발생, 냉동 시 필요한 에너지, 해동의 필요성과 같은 문제점이 있다(1). 이러한 문제점을 해결하기 위해 빙점을 강하시켜서 저장성을 향상시킬 수 있는 방법이 빙점 강하법이다.

빙점강하는 물과 같은 물질이 녹는점 이하의 온도에서도 얼음 결정을 형성하지 않고 매우 불안정한 액상상태로 남아 있는 현상을 의미한다(2). 그러나 빙점강하법은 식품 내의 수분이 반응 에너지가 최소인 상태로 유지되면서 얼음 결정을 형성하지 않으면서 액상으로 존재하도록 하는 방법이

다. 이러한 빙점강하 현상이 발생하면 기존의 냉동 온도에 서도 물이 얼음으로 전환되지 않기 때문에 잠열 등을 제거 하는데 필요한 에너지를 절감할 수 있고, 얼음 결정의 형성 또는 성장이 없기 때문에 식품 조직의 파손을 효과적으로 막을 수 있으며 해동과정이 불필요한 장점이 있다(3). 현재 빙점강하에 의한 식품저장은 수삼의 선도연장(4), 과일류인 사과와 저장(5), 채소인 딸기 펄프와 생고추 페이스트(6) 등의 다양한 식품의 저장에 이용되고 있다.

과일, 채소와 같은 식품에 비해 빵과 과자류는 일반적으로 자체의 수분함량이 낮고, 고형분 함량이 높아서 비교적 동결점이 일반식품에 비해 낮은 편이다. 고추 페이스트는  $-0.4\sim-0.7^{\circ}\text{C}$ (6), 수삼은  $-1.7^{\circ}\text{C}$ (4)로서 채소나 청과물은 비교적 동결점이 높지만 일반적인 cake의 동결점은 설탕, 밀가루, 계란 등의 용질들에 의해  $-9.4^{\circ}\text{C}$  이하이며, 흰식빵이  $-4^{\circ}\text{C}\sim-6.7^{\circ}\text{C}$ (7), Chiffon cake은  $-9.4^{\circ}\text{C}$ , angel food는  $-10.8^{\circ}\text{C}$ , yellow layer cake은  $-15.56^{\circ}\text{C}$ , pound cake은  $-16.67^{\circ}\text{C}$ 로 보고

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail : andrewkang@youngdong.ac.kr, Phone : 82-43-740-1188, Fax : 82-43-740-1109

되어 있다(8). 이와 같이 냉동 식품의 선도를 개선하기 위해 사용되는 빙점강하제로서는 단당류, 이당류, 알코올류 및 무기염류 등의 이용에 대해 연구되고 있다.(2,6).

식품의 공정 최적화와 배합비를 결정을 위한 통계적 실험설계법으로 반응표면분석법이 이용되고 있다(9-12). 반응표면분석법은 제품 개발 및 배합비 설정 또는 공정 개발의 최적화에 응용되는데, 바나나 칩의 바삭거림을 위한 데치기 공정의 최적화(9), 당근의 냉동 조건 설정(10), 발효 쌀빵의 최적 배합비(11), 냉동빵 배합 및 반죽 조건(12) 등과 같이 여러 분야에서 이용되었다.

본 연구는 빙점강하제 혼합에 의해 발생하는 파운드 케이크 제품의 이미 또는 조직 변화 등과 냉동 제품의 품질특성을 최소화하기 위해 반응표면분석법을 이용하여 비동결 파운드 케이크의 최적 배합비를 개발하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 케이크 제조

재료를 기본배합비(Table 1)로 파운드 케이크를 제조하였다. 박력분과 설탕, 베이킹 파우더를 넣고 반죽기(Hobart C-100, USA)로 저속(61 rpm)에서 30초 동안 혼합한 후, 버터와 계란의 반을 넣고 다시 저속에서 30초간 수화시킨 후, 고속(190 rpm)에서 1분간 혼합하였다. 1차 반죽에 나머지 계란을 2번에 나누어 넣으면서 고속에서 1분간 혼합하였다. 혼합된 반죽을 400 g씩 파운드 케이크 틀에 분할하여, 온도를 윗불 200℃, 아랫불 160℃로 조절한 오븐(Dae-Young Machinery, Korea)에 넣어서 25분간 1차 굽기한 후, 윗불 150℃, 아랫불 180℃로 45분간 2차 굽기를 하였다(13). 굽기가 끝난 파운드 케이크를 상온에서 24시간 보관 후 물성검사 및 냉동 실험에 사용하였으며, 관능검사에 사용하기 위한 시료는 밀봉포장한 후, -20℃에서 1주일 냉동 보관한 후에 실험에 이용하였다.

### 실험계획

배합표의 작성은 반응표면분석법에 의한 중심합성법(central composite method)에 의해 Table 2와 같이 하였으며, 모형은 quadratic model로서 단일 block으로 13개의 실험구로 결정하였다. 설탕 함량은 밀가루 대비 60%에서 140% 범위를 결정하였으며, sorbitol은 0%에서 100%, glycerol은 0%에서 66.7%로 범위를 정하여 실험계획을 성립하였다. 기존의 제품과 유사한 관능치와 동결점 강하효과를 나타낼 수 있는 최적의 배합비를 찾기 위해 반응 항목으로는 압축강도, 수분함량, 동결점, 관능검사(감미도, 조직감, 촉촉함)를 측정항목으로 설정하였다.

Table 1. Standard formula for pound cake

	Baker's ratio(%)	Real weight(g)
Wheat flour	100	250
Sugar	100	250
Butter	80	200
Egg	100	250
Baking powder	3	3

Table 2. Experimental design for making the non-frozen pound cake at normal freezing storage condition(-20℃) by Response Surface Methods (Based on the Baker's ratio)

Run Number	Experimental amount(%) <sup>*</sup>		
	Sugar	Sorbitol	Glycerol
1	100	50	67
2	60	100	67
3	60	50	34
4	100	50	0
5	60	0	0
6	100	0	34
7	100	100	34
8	100	50	34
9	100	50	34
10	140	100	0
11	140	50	34
12	140	0	67
13	100	50	34

### 동결온도

동결점 측정은 -25℃ chamber에 높이 12 cm, 길이 20 cm인 파운드 케이크의 기하학적 중심부에 직경 2 mm인 J-형 열전쌍을 꼽은 후 컴퓨터에 연결된 data logger(DT600, Datataker, Australia)를 이용하여 1분 간격으로 온도변화를 연속 측정하였다.

### 관능검사

최적의 배합비를 결정하기 위하여 반응표면분석법에 의해 구해진 배합비로 만든 시료들을 7점 순위기호검사로 감미도, 조직감, 촉촉함을 측정하였다. 관능검사 시료에는 난수표를 이용하여 얻은 3자리 숫자를 표시하여 주었으며, 숙달된 21명의 검사원으로 대조구를 중심으로 시계방향으로 관능검사를 실시하였다.

### 압축강도

반응표면분석법에 의해 만들어진 파운드 케이크의 압축강도는 두께 3 cm로 자른 각 시료의 중심부를 texture analyzer(TA-HDi, Stable Micro system, Haslemere, UK)를

이용하여 압착시험을 실시하였다. 측정값은 10회 반복 시험치의 평균값으로 하였다. 측정 모드는 TPA로 하였으며, probe는 직경 35 mm(P/35), 변형률은 25%, trigger force는 40 g으로 설정한 후 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 기본 배합비에 의한 케이크의 특성

파운드 케이크를 제조하기 위한 일반적인 기준 배합비는 Table 1에 나타내었으며, 기본 배합비에 의해 제조된 파운드 케이크의 냉동 곡선은 Fig. 1에 나타내었다. 기본 배합비에 의한 파운드 케이크의 냉동곡선은 일반적인 식품의 냉동곡선과 유사하게 나타났으며, 빙결점은 기존에 보고된 결과와 유사한  $-16.16^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다(8). 또한,  $0^{\circ}\text{C}$ 에서  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지 냉동되는 시간은 약 320분 정도가 소요되었다. 수분함량은 19.54%이었으며, 경도는 2,925.9 g으로 나타났다.

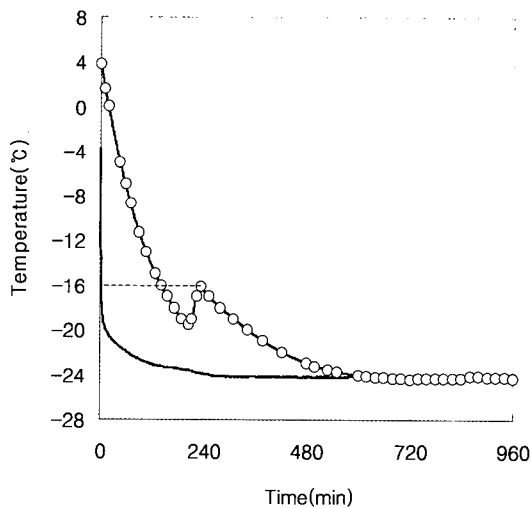


Fig. 1. Freezing curve for the pound cake with standard formula.

- : Temperature of chamber.  
○ : Pound cake with standard formula.

### 배합비에 따른 파운드 케이크의 특성

실험계획법에 의해 설계된 솔비톨, 설탕, glycerol의 배합 조건에 의해 제조된 파운드 케이크의 반응특성을 측정 한 결과는 Table 3과 같다. 설탕은 빵이나 과자의 제조 시에 사용되는 여러 가지 당류 중에서 가장 보편적으로 사용되는 것으로써 주된 기능인 퍼짐성 조절의 역할 뿐 만 아니라 연화제, 보습제, 감미제, 껌질색깔조절 등의 역할을 한다(14). 그러나 설탕 대신에 전화당, 맥아당, 고과당, 솔비톨과 같은 여러 가지 액체당을 대체한 실험 결과와(15) 유사하게 설탕을 제외한 다른 동결방지제인 솔비톨과 glycerol의 함량이 증가할수록 경도는 낮은 값을 나타내었으며, 케이크

의 조직은 매우 연하게 물러지는 현상이 발생하였다. 설탕 함량이 적을수록 수분함량은 증가하는 경향으로 나타났으나, 관능검사의 감미도는 낮아졌다. 빙결점도 설탕만 60% 첨가한 경우에는 기본 배합비에 의해 제조된 파운드 케이크의 빙결점보다도 높은  $-12^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

이러한 빙점강하 현상은 용액 속에 녹아있는 용질의 종류와는 상관없이 용질의 molar농도에 비례한다는 Rault의 법칙에 의존한다. 그러나 솔비톨이나 glycerol이 첨가된 파운드 케이크들의 빙결점은 본 실험의 냉동조건에서는 정확한 빙결점이 나타나지 않았으나 모두  $-22^{\circ}\text{C}$ 이하에서 형성된 것으로 추정되었다. 수삼의 빙점강하를 위해 솔비톨 또는 glycerol을 단독으로 사용한 경우보다, 혼합하여 사용한 경우에 빙결점을 더욱 낮출 수 있었으며, 각각의 고유한 불쾌미 등을 상호보완적으로 상쇄시킬 수 있었다는 보고(4)와 유사하게 빙점강하제의 단독 사용보다는 혼합사용하는 것이 조직과 빙점강하에 우수한 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

Table 3. Experimental results of the non-frozen pound cake by response surface methods

Run number	Hardness (gf)	Moisture content (%)	Freezing temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sensory analysis		
				Texture	Sweetness	Moisture-ness
1	2,605.71	18.20	-22	5.15	5.10	4.90
2	2,688.25	20.00	-22	4.20	3.75	3.75
3	2,790.45	20.14	-22	4.45	4.25	4.55
4	2,214.29	18.39	-22	5.80	4.45	5.60
5	3,980.76	25.73	-12	4.15	3.10	3.85
6	2,396.08	19.85	-22	4.95	4.45	5.15
7	1,822.00	15.04	-22	5.25	4.75	5.40
8	1,980.89	15.11	-22	5.10	4.75	5.65
9	1,980.89	15.30	-22	5.05	4.75	5.65
10	2,088.10	10.80	-22	4.05	5.3	4.75
11	1,772.86	13.82	-22	5.20	5.55	5.70
12	1,681.97	16.08	-22	5.50	4.85	5.20
13	1,980.89	15.50	-22	5.23	4.75	5.65
Control*	2,925.93	19.54	-17	4.00	4.00	4.00

\*The pound cake made by the standard formula.

### 반응표면분석법에 의한 반응변수

반응표면분석법에 의해 제조된 파운드 케이크의 반응변수들의 측정 결과에 대한 통계분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 선형관계를 나타낸 수분함량을 제외한 모든 반응변수들이 2차 함수로서 나타났으며, 상관계수는 0.88이상이었다. 독립변수와 반응과의 관계를 3차원 곡선으로 도식한 결과는 Fig. 2와 같다. Glycerol을 중간값으로 고정했

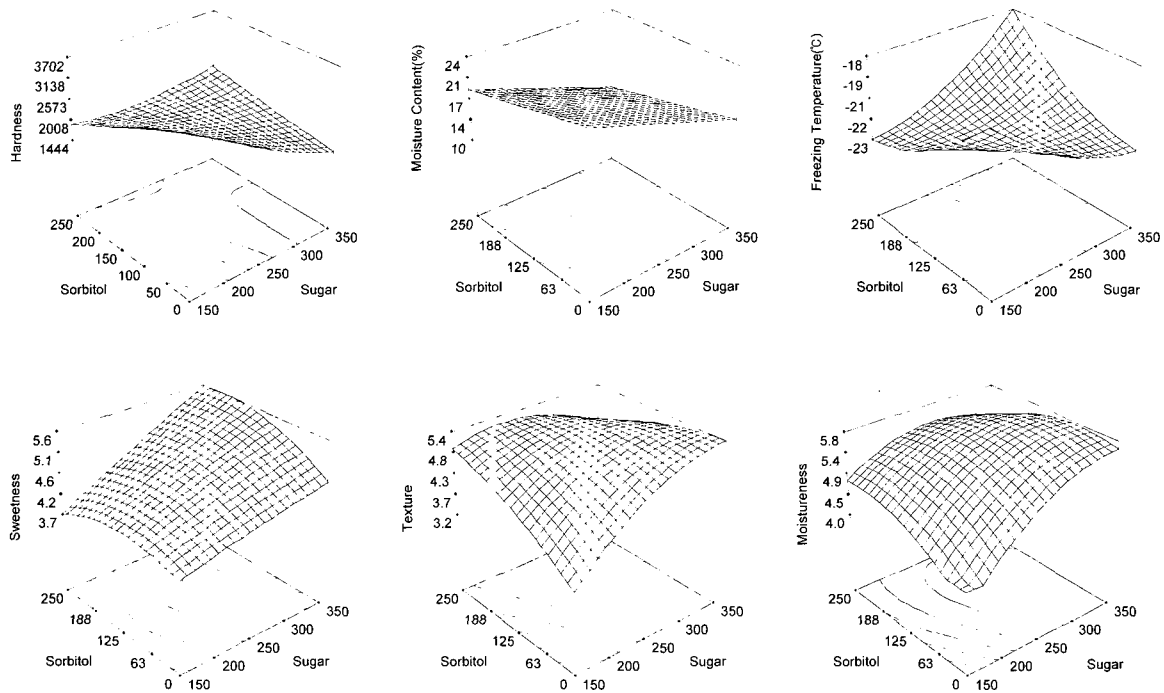


Fig. 2. Response surface diagrams for the rheological and sensory response of non-frozen pound cake.

을 때에 설탕과 솔비톨은 각각의 함량이 증가함에 따라 hardness는 상호연관성을 가지고 감소하는 경향을 나타내는 quadratic 모형으로 분석되었다. 설탕과 솔비톨 함량의 증가에 따라 수분함량은 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었으나 감미도는 quadratic 모형으로서 증가하는 모습을 보였다. 조직감과 촉촉함에 대한 관능검사 결과는 능선모양으로 상호간에 연관성이 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Statistical analysis results by RSM for non-frozen pound cake at normal freezing storage condition

Response	Model	Prob > F	R <sup>2</sup>
Hardness	Linear	0.0099	0.7004
	Quadratic	0.0054	0.9963
Moisture content(%)	Linear	0.0002	0.8780
	Quadratic	0.2560	0.9691
Freezing temperature(°C)	Linear	0.0610	0.5417
	Quadratic	0.0656	0.9780
Sweetness	Linear	0.0015	0.8052
	Quadratic	0.0614	0.9819
Texture	Linear	0.3817	0.2767
	Quadratic	0.1267	0.9197
Moistureness	Linear	0.2090	0.3811
	Quadratic	0.0001	0.9997

최적 배합비 설정

기본 배합비로 만들어진 파운드 케이크의 물성 및 관능 특성을 기준으로 목표값을 정하여 hardness는 2,927 g, 수분 함량은 19.54%, 빙결점은 -20°C 이하로 정했으며, 관능 특성인 감미도, 조직감, 촉촉함은 4점을 목표값으로 정하였다. 이와 같은 조건에서 구해진 예상 배합비는 Table 5에 나타내었다. 설탕 : sorbitol : glycerol의 비율이 77.6 : 0.0 : 20.4가 가장 높은 desirability를 나타내었으며, 각각의 냉동곡선은 Fig. 3과 같이 나타났다.

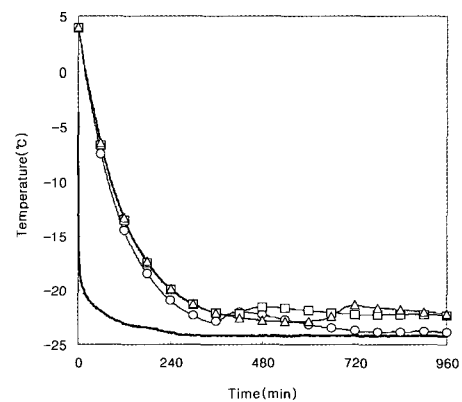


Fig. 3. Freezing curves for the optimized non-frozen pound cake by response surface method.

⊕ : optimized formula 1, ⊖ : optimized formula 2, ⊙ : optimized formula 3.

Table 5. Expected optimized formula for the non-frozen pound cake by response surface methods

Number	Sugar (%)	Sorbitol (%)	Glycerol (%)	Desirability
1	77.6	0.0	20.4	0.833
2	60.0	32.8	16.4	0.828
3	70.8	11.2	19.6	0.821

각각의 빙결점은  $-20^{\circ}\text{C}$ 이하인  $-22$ ,  $-21.5$ ,  $-21.4^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.  $0^{\circ}\text{C}$ 에서  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지 온도가 떨어지는 시간은 기본 배합비에 의해 만든 파운드 케이크가 325분이었는데 최적화된 케이크는 191분, 220분, 236분으로서 기준에 비해 45%~27%정도의 동결 시간 감소 현상이 발생하였다. 이는 설탕에 비해 분자량이 작은 sorbitol과 glycerol이 동결방지제로서 설탕보다 우수한 역할을 하고, 용질의 molar농도를 증가시켜 빙결점이 낮아지는 supercooling 현상이 발생했기 때문이다(6). 또한 냉동 시에 냉동시간에 가장 큰 영향을 미치는 수분의 상변화 과정이 일어나기 전에 냉동저장 온도에 도달하여 동결시간이 짧아진 것으로 여겨진다.

## 요 약

비동결 파운드 케이크의 배합비를 반응표면분석법에 의해 여러 가지 동결방지제의 함량을 조절하여 결정하였다. 수분함량만이 동결방지제 함량과 선형관계를 나타내었으나, 다른 반응변수들은 quadratic모형으로 나타났다. 비동결 파운드 케이크에 제조시 함유되는 당류의 최적 배합비는 77.6:0.0:20.4, 60.0:32.8:16.4, 70.8:11.2:19.6와 같이 3가지로 제시되었다. 최적배합비로 제조한 파운드 케이크의 냉동 시간은 기준 배합비로 만든 케이크보다 45~27%가 단축되었으며, 동결점은  $-20^{\circ}\text{C}$ 이하에서 나타났다. 동결방지제의 적절한 배합율을 적용하면 빙점강하에 의해 가공식품 냉동에 필요한 냉동 에너지 감소 효과를 얻으며 기존 제품과 유사한 품질 특성을 구할 수 있음을 알았다.

## 참고문헌

1. Le Bail, A., Grinand, C., Le Cleach, S., Martinez, S. and Quilin, E. (1999) Influence of storage conditions on frozen french bread dough. *J. Food Engineering*, 39, 289-291
2. Fremond, M., Gormaz, R. and San Martin, J. A. (2001) A New Mathematical Model for Supercooling. *Journal*

- of Mathematical Analysis and Applications, 261, 578-603
3. Akyurt, M., Zaki, G. and Habeebullah, B. (2002) Freezing phenomena in ice water systems. *Energy Conversion and Management*, 43, 1773-1789
4. Bae, N.G., Jeong, M.C., Kim, D.M., Moon, K.D. and Choi, J.U. (2000) Freshness extension of ginseng with freezing point depressing agents. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, 7, 57-62
5. Lucas, T., Francois, J. and Raoult-Wack, A. (1998) Transport phenomena in immersion-cooled apples. *International Journal of Food Science & Technology*, 33, 489-499
6. Jeong, J.W., Jo, J.H., Kwon, D.J. and Kim, Y.B. (1990) Studies on the low-temperature storage of strawberry pulp and red pepper paste by cryoprotectants. *Korean J. Food Sci. & Technol.*, 22, 434-438
7. Mogens J. (1984) Early investigations in "The quality of frozen foods" Academic press Inc. London, p.5-32
8. Matz, S.A. (1989) Freezing preservation of bakery products in "Bakery Technology", Elsevier Science Publishers, USA, p.103-134
9. Jackson, J.C., Bourne, M.C. and Barnard, J. (1996) Optimization of blanching for crispness of banana chips using response surface methodology. *J. Food Sci.*, 61, 165-166
10. Kang, B.S. and Lee, Y.C. (2001) Optimization of the Cryogenic Freezing Process for Carrot Slices, *Food Sci. Biotechnol.*, 10, 40-45
11. Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin, R.T. and Thomson, A.B.R. (1988) Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads : Objective measurements. *J. Food Sci.*, 53, 1800-1805
12. Rouille, J., Le Bail, A. and Courcoux, P. (2000) Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough, *J. Food Engineering*, 43, 197-203
13. Lee, K.H. (1996) Sensory characteristics of pound cake baked from Korean wheat flour, *Korean J. Food & Nutr.*, 9, 419-423
14. Michael, A.S. (1981) Sweeteners functionality in cookies and crackers, *Technical Bulletin, American Institute of Baking.*, 3, p.1-4
15. Kook, S.U. (1996) Usage of liquid sugars for shelf life extension of the cake. *Korean J. Food Nutr.*, 9, 259-264