

수소자기공명원리를 이용한 비파괴적 농산물 함수율 측정장치 개발을 위한 기초실험⁺

Development of Nondestructive Moisture Sensor for Agricultural Products Using Hydrogen NMR : Feasibility Experiments

조성인*

S. I. Cho

Summary

Nuclear magnetic resonance(NMR) was used to study a feasibility test for the possibility to develop a moisture sensor applicable for agricultural products such as raw and powdered grain. Samples of wheat flour and brown rice were tested with a 200MHz hydrogen NMR. The samples were loaded into 5mm NMR glass tubes and 30° pulses were supplied to get resonance signals. Hydrogen spectrum intensities of the samples were compared to moisture content measured by a drying oven method. High linear correlations were obtained between the hydrogen spectrum intensity and moisture content. Therefore, moisture contents of agricultural products could be measured nondestructively utilizing the NMR principle. A low-cost design concept of the moisture sensor with the NMR principle was proposed for a practical use.

1. 緒 論

핵자기공명(NMR : Nuclear Magnetic Resonance)장치가 실용화되기 이전에는 적외선 분광기나 질량분광기가 화학적인 여러 분석에 많이 쓰여왔으나, 전자기학, 신호처리, 컴퓨터 기술 등의 발달로 1970년 후반에 접어들면서 핵자기공명의 원리가 어떤 물질에 존재하는 화학적 성분의 구조적, 양적 분석 및 성분 검사 등에 가장 강력한 수단으로 화학, 생물, 의학 등 분야에 널리 쓰이고 있다. 주로 수소(Hydrogen) 및 탄소(Carbon)의 핵자기 공명을 관찰하여 화학적 정

성 및 정량 분석에 많이 쓰이고 있다. 이러한 핵자기공명 장치의 장점은 검사되는 시료를 화학적 또는 물리적 손상이 없이 비파괴적으로 유지할 수 있으며, 또한 필요시 일정 시간 간격으로 재측정할 수 있다는 점이다. 따라서, 비파괴적이며 연속적인(on-line) 화학적 성분 측정을 필요로 하는 시료나 공정제어에 핵자기공명원리의 응용은 활발해 지리라 생각된다.

농산물의 정확한 함수율의 측정은 건조 및 저장 과정에서 열에너지의 효율적 이용 및 품질 결정에 중요한 역할을 한다. 건조과정 중에서 함수율의 비파괴적 연속 측정은 overdrying이나

⁺ 본연구는 1992년도 서울대학교 발전기금 포철학술연구비 지원으로 수행되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

underdrying을 방지할 수 있고 균일한 건조를 수행할 수 있게 한다. Overdrying은 농산물의 손실을 가져오고 또한 열에너지의 낭비를 초래한다. Underdrying된 농산물은 저장 중 부패하거나 미생물에 의한 변질을 가져와 품질저하와 손실의 원인이 된다. 이러한 목적에 이용되는 함수율 측정장치의 개발이 시급하나 현재는 일정 시료를 채취하여 파괴적으로 함수율을 측정하는 장치에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 비파괴적이며 연속적인 함수율 측정장치의 개발에 대한 연구가 구미 각국에서 활발히 진행되고 있으며 근적외선을 이용하거나 전기적 물성 측정을 통한 함수율 판정이 주류를 이루고 있다. 최근에는 핵자기공명을 이용한 비파괴적 함수율 측정 연구가 활발히 진행되고 있으나 이러한 제반 연구가 국내에서는 전무한 실정이다.

농산물 또는 가공 식품의 비파괴적 함수율 측정 장치의 개발이 건조 및 저장시설, 가공시설 또는 식품 공정의 자동화를 위해 절실히 요구되고 있다. 핵자기공명 원리를 이용한 화학적인 구조 분석 및 정량적 분석은 널리 행하여 지고 있으나, 대부분의 시료들은 액체 상태로 측정되고 있다. 농산물과 같은 고체 및 반고체 상태인 시료에 대한 핵자기공명 실험은 최근에 들어 전자 기술 및 신호처리 기술의 발달로 활발해지고 있다.

이에, 본 연구에서는 수소핵자기공명장치(Hydrogen or Proton NMR)를 이용해서 농산물의 비파괴적인 함수율 측정 가능성을 구명하고자 한다. 또한, 현재 사용되고 있는 NMR은 고가의 장비로서 농산물 함수율 측정 장치로서 실용화되기 위해서는 저렴한 장치 설계를 고려해야 한다. 따라서, 이러한 목적에 맞는 저렴한 실용화 방안을 제시하고자 한다. 수소핵자기공명원리를 이용한 농산물의 비파괴적 함수율 측정 장치 개발을 위한 기초 실험의 본 연구 목적을 위해 다음과 같은 세부연구를 수행하였다.

- (1) 수소의 자기공명 원리를 이용한 수분량 측정의 방법을 연구
- (2) 200MHz 수소핵자기공명장치를 이용한

농산물의 수분 측정 실험

- (3) 비파괴 자동 on-line 함수율 측정 장치의 개발 가능성을 제시
- (4) 농산물의 비파괴적 함수율 측정 장치의 실용화를 위한 저가의 시제품의 기초 설계.

2. 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)의 원리

가. 磁氣性 원소

1920년대 초부터 많은 물리학자들은 원자 핵들이 하나의 축을 중심으로 해서 회전하고 있으며, 그 결과로 회전 및 자기 모멘트를 갖게 된다는 사실에 관심을 가져왔다. 이러한 회전모멘트를 가지는 원자 핵이 축회전수와 같은 주파수로 변하는 자기장 내에서 共鳴을 일으키면서 에너지를 흡수하는 핵자기공명 현상은, 1946년에 미국 Harvard 대학의 Purcell과 Stanford 대학의 Bloch에 의해서 石蠟(paraffin wax)과 물로부터 처음으로 관찰되었다. 그러나, 모든 원자 핵이 이러한 핵자기 공명을 일으킬 수 있는 자기성 즉 자기모멘트를 갖는 것은 아니다. 양자나 중성자 수가 홀수인 원자 핵만이 이러한 성질을 갖는다. 대표적인 예를 들면, ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P 등을 들 수 있다.

나. 共鳴신호

어떤 물질이 다량의 수분을 포함하고 있다고 하자. 물 분자를 이루는 수소 원자핵의 99.98%는 ^1H 상태로 존재하며 자기모멘트를 가진 하나의 조그만 자석으로 생각할 수 있다. 각각의 수소 핵들은 임의로 배열되어 있으므로 전체적으로 볼 때 磁性을 띠지 않는다. 만약 그 물질을 수천 gauss의 강한 자기장(B_0) 속에 두면, 각 수소 핵의 회전 자기모멘트는 강한 외부의 자장의 방향으로 정렬하게 된다 (그림 1). 동시에 각 수소 핵들은 자장의 방향을 기준으로 하여 歲差(precession)운동을 하게 된다. 세차 운동의 각속도

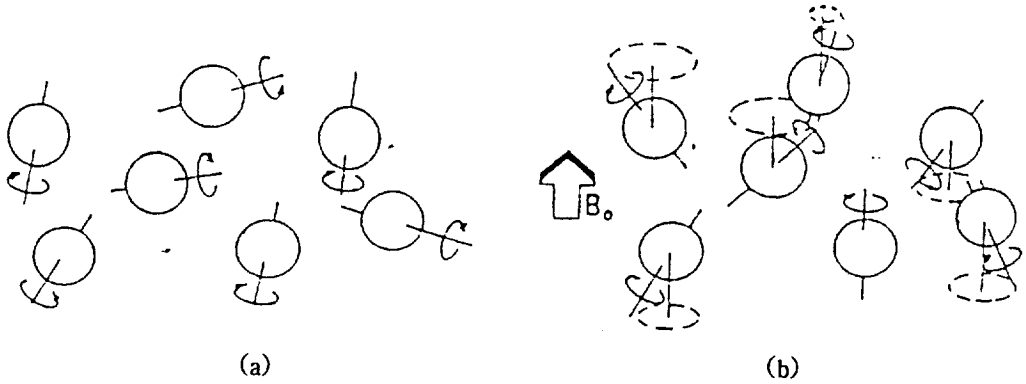


Fig 1. Without a magnetic field(a) and within a magnetic field(b)

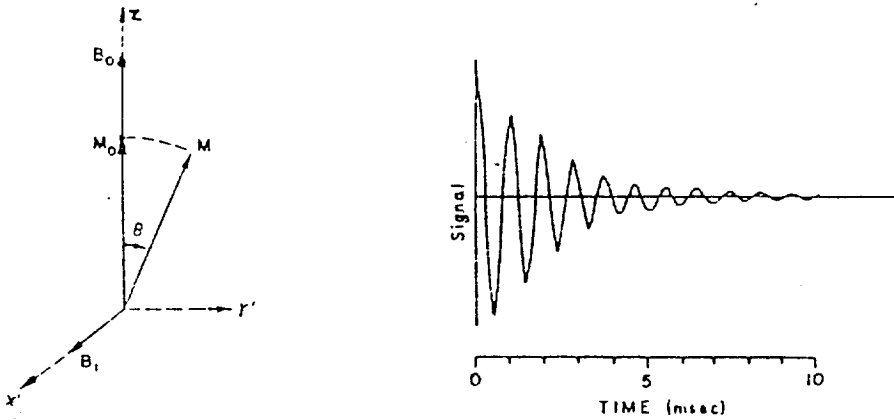


Fig 2. Macroscopic magnetization M and relaxation of a resonance signal

는 원자핵의 종류에 따라 고유한 값을 가지며, 외부 자장의 세기에 비례하여 변한다. 즉, 수소 원자는 1000 gauss 자장 속에서 4.26MHz의 속도로 세차운동을 한다. 이 때 자장의 방향(Z축)으로의 전체 수소핵의 자기모멘트의 벡터합을 巨視的磁化(macroscopic magnetization) 또는 總磁化 M이라 한다.

강한 자장 B_0 에 수직인 방향으로(X축) 또 하나의 비교적 약한 수십 gauss 정도의 무선주파수(radiofrequency) 범위의 振動자기장 (oscillating magnetic field) B_1 을, 수소원자핵의 세차운동 각속도와 같은 주파수로 걸어주면 공명현상을 일으켜 에너지를 흡수하며, 巨視的磁化 M을 Y방향으로 기울게 한다. B_1 자장을 소멸시키면

기울어진 M이 원래의 위치인 Z축으로 되돌아가면서 외부로 에너지를 방출하여 공명신호(resonance signal)가 발산된다 (그림 2).

다. NMR 신호처리 방법

공명신호를 감지코일로 잡아 내어 조사되는 물질의 화학적인 정성적 및 정량적 분석을 가능하게 한다. 먼저 방출에너지 $\Delta E = h\nu$ 를 이용하여, 공명신호의 주파수 ν 가 계산된다. 물질의 화학적 정보를 찾아내기 위해서 쓰이는 공명신호는 여러과정의 전자적 신호처리 과정을 거쳐서 원하는 신호변수를 구하게 된다. 대표적으로 쓰이는 신호변수로는 化學的變移(chemical shift)

와 弛緩時間이 있다. 같은 수소 원자일지라도 결합 환경에 따라 공명주파수 ν 가 약간씩 다르게 된다. 이 차이 정도를 화학적변이라고 하는데 tetramethylsilane, TMS, $[\text{Si}(\text{CH}_3)_4]$ 로부터 나오는 수소공명주파수를 기준으로하여 그 차이 [ppm]로써 표시한다. 그림 3는 ethylbenzene, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$ 의 수소자기공명 신호를 Fourier transform으로 나타낸 것이다. 수소스펙트럼의 위치와 모양을 관찰하여 미지물질의 화학적 구조를 알아낼 수 있다. 또한 각각의 수소스펙트럼의 면적은 적분회로로 구해지며 스펙트럼의 강도를 나타낸다. 스펙트럼의 강도는 그 위치있는 수소 원자의 수에 비례한다는 성질을 화학물질의 정량적분석에 이용한다. 그림 3에서 ethylbenzene($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$)의 세 위치에서의 수소 스펙트럼의 적분비는 수소원자 수의 비율과 같다.

X, Y, Z 축상에 각각 M_x , M_y , M_z 를 갖는 기울어진 巨視的磁化 벡터 M 이 원래의 위치인 Z축으로 되돌아 가면서, 두가지 종류의 이완시간을 가지게 된다. M_z 가 원래의 크기 M_0 로 되돌아 가면서 이완되는 시간을 T_1 , M_x 나 M_y 가 소멸되면서 이완되는 시간을 T_2 라 한다. 이 관계를 수식으로 표시하면,

$$\frac{dM_z}{dt} = -\frac{(M_0 - M_z)}{T_1}$$

$$\frac{dM_x}{dt} = -\frac{M_x}{T_2}, \quad \frac{dM_y}{dt} = -\frac{M_y}{T_2}$$

T_1 은 원자핵의 이완이 핵주위의 환경과의 사

이에서 일어날 때의 이완시간이고 (spin-lattice relaxation time), T_2 는 원자핵 사이에서 일어나는 이완시간이다 (spin-spin relaxation time). T_1 과 T_2 는 물질의 상 또는 종류에 따라 다른 값들을 가지며, T_2 는 항상 T_1 보다 같거나 작다. T_2 값은 고체상일 수록 짧고, 액체상일 수록 길다. 또한 물과 기름의 시간간수들은 상이한 값을 갖는다. 이러한 특성들을 검사물질의 화학적 성분 분석 및 의학적 진단에 널리 사용하고 있다.

3. 재료 및 방법

가. 시료 및 함수율 측정

각기 다른 함수율을 가지고 있는 밀가루와 현미가 시료로 사용되었다. 다른 수분함량을 가진 시료를 만들기 위해, 먼저 밀가루의 경우는 시료를 수증기를 붙여 넣은 밀폐된 공간에 넣어두고 24시간 동안 습기에 노출시킨 후 이를 9등분하여 사각상자형 은박지에 담아 9개의 시료를 만들었다. 현미는 24시간 동안 물에 담구어 불린 다음 물에서 꺼내어 4시간동안 자연건조하여 현미입자의 외부 물기를 제거한 다음 이를 각각 10등분하여 은박지에 담아 10개의 시료를 만들었다. 다음에 준비된 시료들의 함수율을 다르게 하기 위하여 전기오븐을 이용하여 일정한 시간 간격으로 건조시켜 각기 다른 함수율을 갖는 시료들을 만들었다. 밀가루와 현미의 시료 각각에 고유 번호를 붙이고 건조기에 넣고 밀가루는 3분간격으로 현미는 10분간격으로 시간차를 두고 건조시킨 후 꺼내어, NMR실험을 위한 샘플을 채취한 후 나머지의 무게를 재었다. 이렇게 해서 얻은 밀가루와 현미의 시료들을 36시간 정도 105℃ 일정 온도로 건조시킨 후, 모두 꺼내어 그 무게를 다시 재어 함수율을 측정하였다. 무게를 측정하기 위하여 전자저울(Model : Oertling KC 22)을 사용하였으며 $\pm 0.005\text{g}$ 의 정확도를 가지고 있었다. 현미와 밀가루 내부에 함유된 수분의 무게를 측정하기 위하여 먼저 은박지를 각각의 샘플마다 준비한 뒤 그 무게를 측정해 두고 그

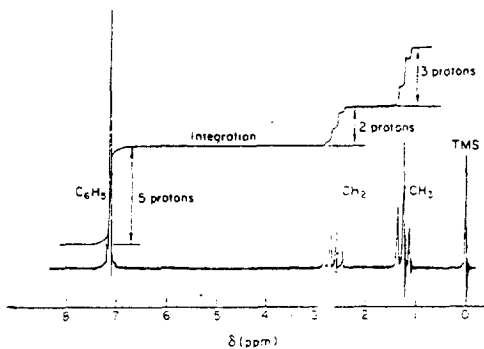


Fig 3. Hydrogen NMR spectrum and its integration of ethylbenzene(10% solution)

위에 시료를 올려놓아 건조전과 건조후의 무게를 측정하고 여기서 은박지의 무게를 빼내어 시료내의 수분의 무게를 측정하였다. 이때 함수율은 습량기준(wet basis) 함수율을 사용하였으며 다음식을 이용하여 함수율을 구하였다.

$$M.C. = \frac{W_m}{W_t} \times 100 = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100$$

여기서, M.C. : 습량기준 함수율 (% , Wet Basis Moisture Contents), W_m : 시료내에 포함되어 있는 수분의 무게, W_t : 시료의 총무게, W_d : 완전히 건조된 시료의 무게이다.

나. NMR 실험

각기 다른 함수율을 가진 시료들을 각각 5mm NMR 시험관에 일정한 높이로(5cm)로 담아 Varian 200MHz NMR을 이용하여 수소공명 스펙트럼을 관찰하였다. 먼저, FID(Free Induction Decay)형태의 공명신호를 얻기위해서 한개의

30° 펄스 방법(Single pulse method)를 이용하였다. 그림 4는 사용된 pulse sequence를 보여주고 있다. Pulse의 폭(P_w)은 7 μ sec이었으며 A_t 는 FID data acquisition time으로서 약 0.8초였다. 공명신호의 Signal-to-Noise ratio를 높이기위해 30° pulse를 일정한 간격으로 32번 반복하여 투사한 후 얻어진 FID 공명신호를 중첩하여 얻었다. 이렇게 함으로써, random한 상태의 noise는 서로 상쇄되어 적어지고 반면에 공명신호는 반복 중첩되어 나타난다. 일반적으로 S/N ratio는 반복수의 제곱근만큼 증가한다. 이렇게 얻어진 FID 공명신호는 Fourier transform되어 스펙트럼 형태로 나타난다. 그림 5는 함수율 14.27%인 밀가루의 수소NMR스펙트럼들을 보여주고 있다. NMR실험 때의 샘플온도는 20°C로 유지되었으며 밀가루는 9개, 현미는 10개의 샘플이 사용되었다.

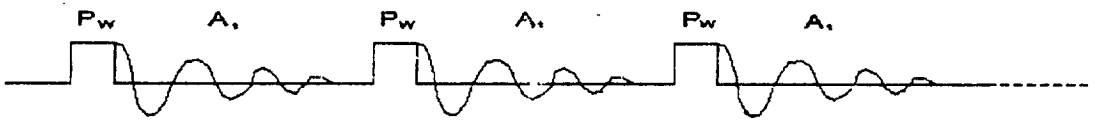


Fig 4. Single pulse sequences and FID signals

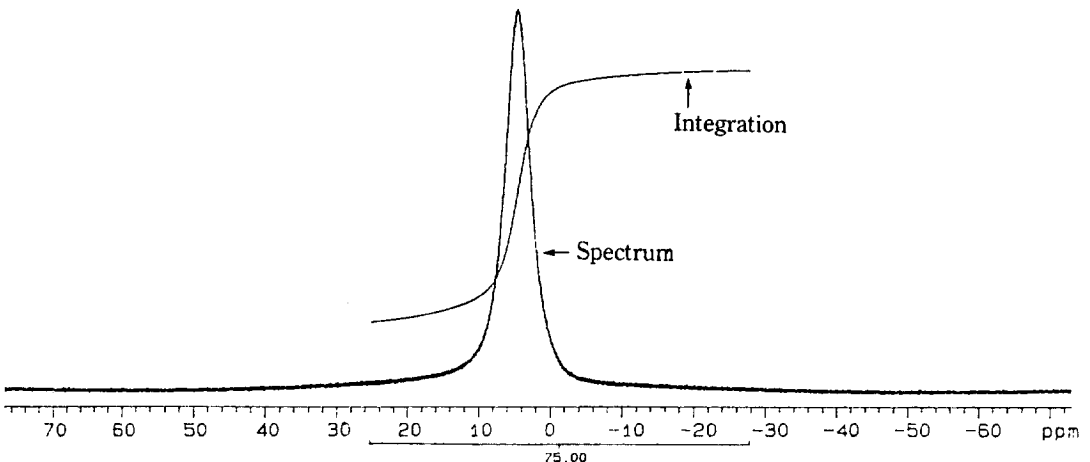


Fig 5. Hydrogen NMR spectrum of wheat flour having 14.27% moisture content

4. 결과 및 고찰

가. 함수율과 공명신호와의 관계

측정된 함수율과 수소스펙트럼의 강도와의 상관관계를 분석하여, 아래 그림 6, 7과 같은 높은 선형적 비례 관계를 얻었다. 수분량은 건조법에

의해서 측정되었으며 수소스펙트럼의 강도는 그림 5에 있는 바와 같은 수소스펙트럼의 면적 즉 적분값에 의해서 나타내어진다. 밀가루의 수소 NMR 실험결과에서는 함수율과 적분값과의 상관관계값은 그림 6과 같이 $R^2=0.948$ 로 나타났으며 밀가루 각 시료의 함수율과 적분값은 표 1에 나타나있다.

Table 1. The moisture contents and their corresponding integrations of NMR signals of the wheat flour samples

Weight Unit : g

Sample No.	Weight of aluminium foil box	Weigh before drying (including box)	Weight after drying (including box)	Moisture Content (%)	Spectrum Integration
1	0.79	23.70	20.43	14.27	75.00
2	0.69	21.54	18.77	13.29	64.24
3	0.73	19.74	17.32	12.73	62.98
4	0.78	17.70	15.59	12.47	58.40
5	0.72	20.90	18.57	11.55	47.36
6	0.75	26.56	23.84	10.54	51.16
7	0.73	18.26	16.63	9.30	41.24
8	0.74	25.63	23.36	9.12	34.01
9	0.69	22.38	20.65	7.98	22.95

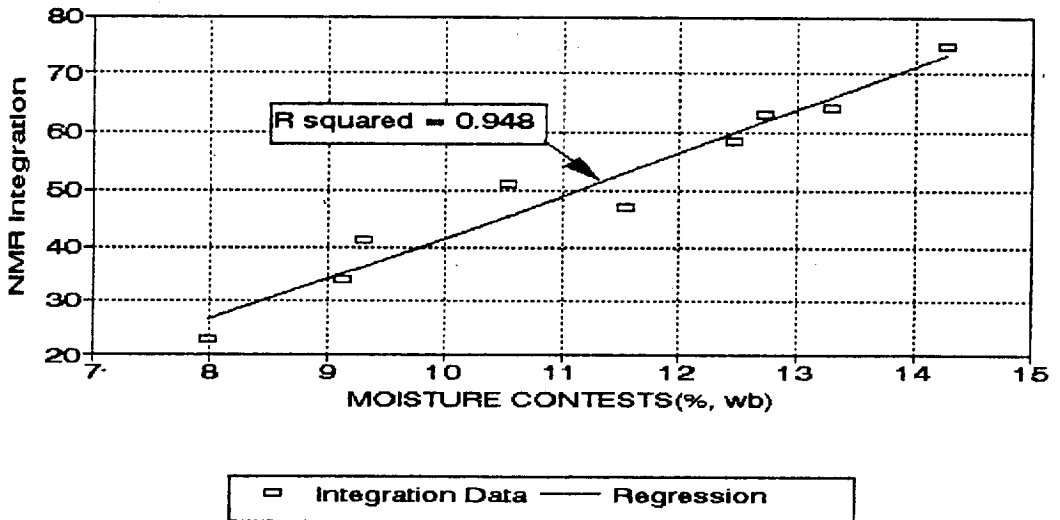


Fig 6. The correlation between the moisture content and the integration of hydrogen NMR spectrum of the wheat flour samples

Table 2. The moisture contents and integrations of hydrogen NMR signals of the brown rice samples

Weight Unit : g

Sample No.	Weight of aluminium foil box	Weigh before drying (including box)	Weight after drying (including box)	Moisture Content (%)	Spectrum Integration
1	2.65	42.51	30.48	30.12	54463.50
2	2.74	40.19	29.35	28.95	50923.37
3	2.72	42.25	32.00	25.93	48358.74
4	2.66	38.54	30.51	22.38	46903.12
5	2.67	36.80	31.31	16.10	33775.42
6	2.60	38.60	33.34	14.58	33671.65
7	2.65	35.73	31.20	13.69	34435.56
8	2.66	34.00	30.80	10.21	24668.47
9	2.62	34.22	32.04	6.90	19104.91
10	2.67	36.12	33.90	6.63	23036.45

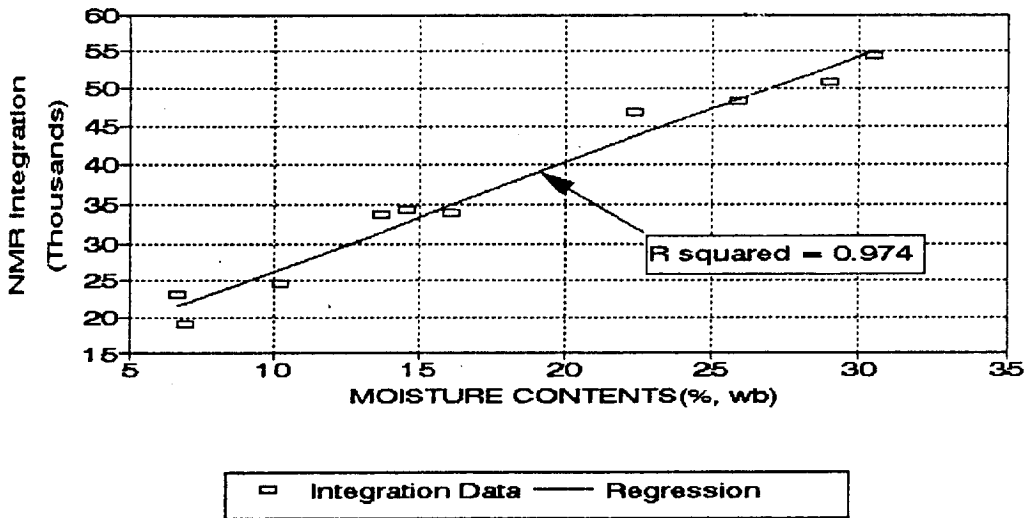


Fig 7. The correlation between the moisture content and the integration of hydrogen NMR spectrum of the brown rice samples

또한, 현미에서 함수율과 적분값과의 상관관계값은 그림 7에서의와 같이 $R^2=0.974$ 이고 현미 각 시료의 함수율과 적분값은 표 2에 나타나있다.

나. 비파괴 on-line 수분 측정장치 설계

핵자기공명을 이용한 화학성분의 구조분석 및 양적측정에서 1가원자인 수소의 자기공명신호가 제일 강하게 나타나고 자연계에 존재하는 총 수소원자중 약 99.98%를 차지하고 있다. 그 중

에서도 물(H₂O)은 이러한 1가수소('H)로된 화합물 중에서 가장 강력한 수소공명신호를 방출한다. 따라서, 핵자기 공명을 이용한 수분량의 측정은 다른 화합물의 양적측정에 비해 비교적 용이하다고 할 수 있다.

농산물 수분량의 비파괴적 측정을 위한 장치를 개발하기 위해서는 실험에 이용한 200MHz NMR에 내장된 고가의 초전도자석(Superconducting magnet)을 이용하는 것 대신에 값이 싼 영구자석을 이용할 수 있을 것이다. 이러한 영구자석을 이용해서 10cm 정도의 air-gap을 둘때 2000~3000 gauss 정도의 자장의 세기를 얻을 수 있는 자석상자의 설계를 할 수 있다. 최근에는 경량이면서 고자장을 낼 수 있는 Nd-Fe-B (Neodymium-Iron-Boron)와 같은 영구자석 재질이 개발되어 적은 부피로 4000~5000 gauss의 높은 자장의 세기를 얻을 수 있다. 따라서, 영구자석을 이용한 저렴한면서도 유지비가 거의 없는 농산물의 내부 품질 측정 장치의 개발이 가능하다.

농산물의 비파괴 수분측정 장치를 위한 자석

상자의 전체 설계모형은 그림 8과 같이 사각형 형태를 생각할 수 있다. 이러한 형태는 곡면이 있는 설계에 비해 제작하기 용이하다고 할 수 있다. 두개의 영구자석이 상하에 자리하고 자석 주위에는 철판(Steel Cover)으로 둘러싸여 자장의 손실을 막아 주고 있다. 또한 자석의 표면에 부착된 철판(Pole Face)은 자장의 균일도를 높

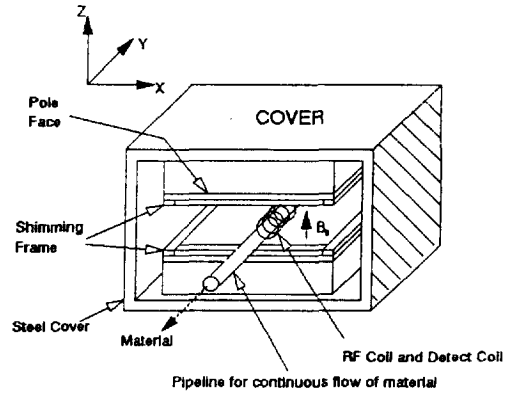


Fig 8. Configuration of the box-type magnet console for the moisture sensor.

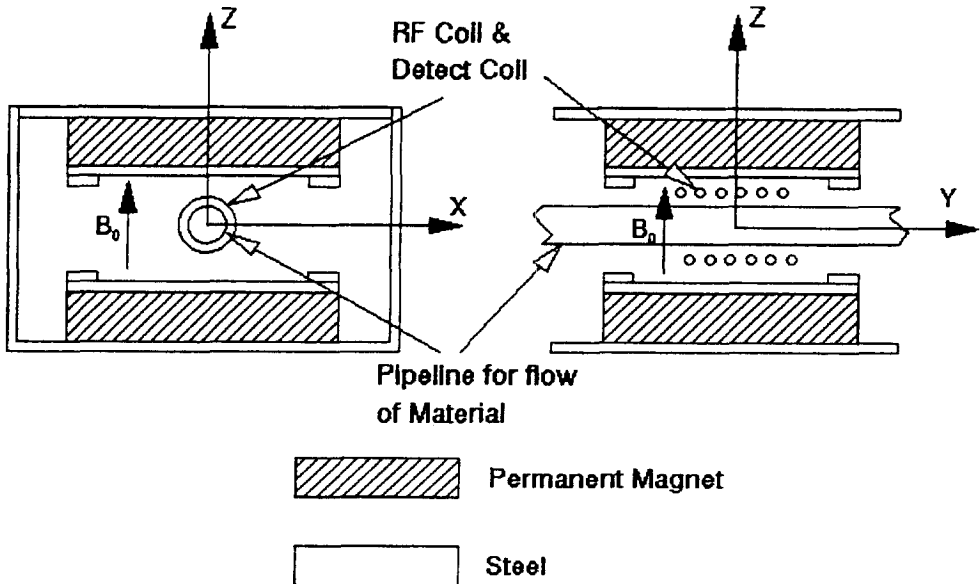


Fig 9. Cross-sections of the magnet console : (a) X-Z plane, (b) Y-Z plane.

혀 주는 역할을 한다. 두개의 영구자석으로 형성된 자장의 사이의 중앙에 검사되는 농산물이 컨베이어나 관을 통해서 통과되고 그 주위에 감지 코일(RF Coil and Detect Coil)이 있어 공명신호를 탐지하게 된다. 탐지된 공명신호는 전기신호로 바뀌어서 신호처리 장치에 의해서 수소스펙트럼을 얻게된다. 그림 9는 그림 8에 있는 자석상자의 2차원적인 단면 형태를 보여주고 있다.

5. 結 論

수소 NMR 실험결과 밀가루와 현미의 경우 함수율과 수소공명신호의 강도가 매우 높은 선형적인 비례관계($R^2=0.948$: 밀가루, $R^2=0.974$: 현미)를 갖는다는 사실이 발견되었다. 여기서 수소공명신호를 얻는 방법은 간단한 7.0 μ sec 동안의 30° pulse를 이용하였다. 이것은 1초 미만의 짧은 시간동안에 수소공명신호의 강도를 측정함으로써 농산물의 비파괴적 수분 측정이 가능하다는 것을 입증해 주고 있다.

추후에 연구될 분야는 밀가루나 현미로부터 나오는 수소스펙트럼의 반복성을 알아보는 추가 실험이 필요하다. 또한, 농산물이 고체상태이므로 스펙트럼의 폭이 넓어지는 데 Magic Angle Spinning과 같은 방법을 사용하여 스펙트럼의 폭을 작게 하는 기법을 연구하고 나아가 수분이 외의 화학성분으로부터 나오는 수소공명신호를 Spin Echo, Carr Purcell (CP), Carr Purcell Meiboom Gill (CPMG)와 같은 pulse sequence 방법으로 분리해 내는 연구를 하면 2000 gauss 정도의 저자장 영구자석을 이용하여도 정확한 측정이 가능 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Battocletti, J.H., T.J. Myers, and R. Scheidt. 1989. A Low-field ^{31}P NMR Spectrometer to Measure Bone Mineral in the Human

Wrist. Proc. 11th Ann. Intl. Conf. IEEE/EMBS (Engineering in Medicine and Biology Society), Seattle, WA. Nov. 9-12, 1989.

2. Chambers, J., N.J. McKeivitt, K.A. Scudamore, and C.E. Bowman. 1989. Non-destructive Determination of the Moisture Content of Individual Wheat Grains by Nuclear Magnetic Resonance. J. Sci. Food Agric. 49 (2) : 211-224.

3. Chen, P., M.J. McCarthy, and R. Kauten. 1988. Potential Use of NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. ASAE No. 88-6572. ASAE, St. Joseph, MI 49085.

4. Dechene, R.L. and A. Roy. 1992. On-line Measurements Using NMR. Proc. Food Processing Automation Conf., Lexington, KY. May 4-6, 1992.

5. Field, L.D. and S. Sternhell. 1989. Analytical NMR. John Wiley & Sons. New York.

6. Gadian, D.G. 1982. Nuclear magnetic resonance and its applications to living systems. Clarendon Press, Oxford, UK.

7. Halbach, R.E., P.R. Moran, J.B. Towne, and D.J. Tolan. 1986. Magnetic Resonance Blood Flowmeter-Arterial Limb Flowmeter. 8th Ann. Conf. IEEE/EMBS.

8. Heil, J.R., W.E. Perkins, and M.J. McCarthy. 1990. Use of Magnetic Resonance Procedures for Measurement of Oil in French-style Dressings. J. Food Sci. 55(3) : 763-764, 884.

9. Hogan, B.J. 1986. One-sided NMR Sensor System Measures Soil /Concrete Moisture. Design News, May, 1986.

10. Ishida, N., T. Kobayashi, M. Koizumi, and H. Kano. 1989. 1H -NMR Imaging of Tomato Fruits. Agric. Biol. Chem. 53(9) : 2363-2367.

11. Low, N.H., T. Brisbane, G. Bigam, and P. Sporns. 1988. Carbon-13 Nuclear Magnetic

- Resonance for the Qualitative and Quantitative Analysis of Structurally Similar Disaccharides. *J. Agric. Food Chem.* 36 : 953-957.
12. Martin, M.L. and G.J. Martin. 1980. *Practical NMR Spectroscopy*. Heyden & Son Ltd, London.
13. McCarthy, M.J. and R.J. Kauten. 1990. Magnetic resonance imaging applications in food research. *Trends in Food Science & Technology*, (December, 1990) : 134-139, Elsevier.
14. Pfeffer, P.E. and Gerasimowicz. 1989. *Nuclear Magnetic Resonance in Agriculture*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
15. Rollins, A., J. Barber, R. Elliott, and B. Wood. 1989. Xenobiotic Monitoring in Plants by ¹⁹F and ¹H Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy. *Plant Physiol.* 91 : 1243-1246.
16. Rollwitz, W.L. 1985. Using radiofrequency spectroscopy in agricultural applications. *Agric. Eng.* 66(5) : 12-14.
17. Rutar, V. 1989. Magic Angle Sample Spinning NMR Spectroscopy of Liquids as a Nondestructive Method for Studies of Plant Seeds. *J. Agric. Food Chem.* 37 : 67-70.
18. Schreiner, L.J., M.M. Pintar, and R. Blinc. 1988. Seed Proton NMR Spin-Grouping. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65(1) : 107-108
19. Tanteeratarm, K., L.S. Wei, M.P. Steinberg, and N. Yamashita. 1990. Bound Water Associated with 7S and 11S Soy Proteins Determined by Vapor Sorption Isotherms and Pulsed NMR. *J. Food Sci.* 55(1) : 130-132.
20. Tollner, E.W. and Y.C. Hung. 1990. Magnetic Resonance for Measuring Moisture in Wheat, Corn, Soybean, Pecans and Peanuts. ASAE No. 903008. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
21. Wang, C.Y. and P.C. Wang. 1989. Nondestructive Detection of Core Breakdown in 'Bartlett' Pears with Nuclear Magnetic Resonance Imaging. *HortScience*, 24(1) : 106-109

학 회 광 고

우리 학회가 주최하는 '93 농기계인 체육대회를 아래와 같이 개최하오니 회원께서는 다수 참석하여 주시기 바랍니다.

—아 래—

일 시 : 1993년 10월 10일(일) 09 : 00 ~ 16 : 00시

장 소 : 농촌진흥청 농촌개발연수관

참석범위 : 학회회원 및 농기계인과 그 가족

행사내용 : 배구, 피구, 발야구, 줄다리기, 공굴리기, 가족노래자랑, 행운권 추첨 등

회 비 : 없음