



제주산 우뭇가사리로 부터 추출한
한천용액의 유동특성

指導教授 姜 堦 二

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

1995年 2月

麗水水產大學校大學院

食 品 工 學 科

高 文 燮



高文變의 工學碩士 學位論文을 認准함

主 審 姜 泰 中



委 員 裴 泰 進



委 員 姜 堦 二



大學院長 高 楠 表



1994年 12月

麗水水產大學校大學院



목 차

Abstract	1
I. 서론	3
II. 재료 및 방법	5
1. 시료	5
2. 실험방법	5
(1) 한천의 추출	5
(2) 유동학적 특성의 측정	5
(3) 일반성분의 분석	8
(4) Agarose 및 agaropectin의 조성비 측정	8
(5) Gel화능의 측정	8
(6) 젤리강도의 측정	9
III. 결과 및 고찰	9
1. 원조의 일반성분	9
2. 한천의 품질 특성	11
3. 농도 및 온도에 따른 전단속도와 전단응력	11
4. 농도 및 온도에 따른 항복력	12
5. 유동특성	16
6. 점조도지수의 농도 및 온도 의존성	23
IV. 결론 및 요약	28
참고문헌	29



Rheological Properties of Agar Solutions from Cheju Seaweed , *Gellidium amansii*

Moon-Sub Ko

*Department of Food Science and Technology, Graduate School,
Yosu National Fisheries University*

Abstract

To bring out the functional properties of Agar-agar, agarose was extracted with boiled water from *Gellidium amansii* produced in Che-ju Udo and it's rheological properties were investigated.

It's extract yield from *Gellidium amansii* produced Che-ju Udo was 32.71%, the content ratio of agarose and agaropectin was 79 to 21, gelation ability was 0.19% and jelly strength was 413.82 dyne/cm².

Agar-agar solution showed the movement of non-Newtonian fluid and pseudoplastic property was emerged as it's concentration go higher as a flow behavior index in the range of 0.5 ~ 5% Agar-agar solution were 0.62~0.69 at 80℃, 0.46~0.67 at 60℃ and 0.34~0.64 at 50℃, the more it increase the more it decrease and consistency index were 0.12~1.26 Pa·sⁿ at 80℃, 0.12~7.28 Pa·sⁿ at 60℃ and 3.9~19952.6 Pa·sⁿ at 50℃, yield stress is 0.09~1.21 dyne/cm² at 80℃, 0.12~5.29 dyne/cm² at 60℃ and 4.84~58.37 dyne/cm² at 50℃.



Consistency index's existence nature to concentration is two straight line relation which have different slopes on the border of 2% concentration of Agar-agar solution, existence nature of temperature followed Arrhenius equation, activation energy were 0.09~13.51 kcal/g·mol, in the range of 0.5%~5% Agar-agar solution.



I. 서 론

홍조류의 세포벽 성분인 점질성의 복합다당류를 추출시켜 건조하여 만든 한천은 D-galactose와 3,6-anhydro-L-galactose로 된 고분자 다당류에 황산기 및 carboxyl기가 결합한 친수성 콜로이드 물질이다¹⁻³⁾.

한천제조는 17세기 중엽 일본에서 처음 시작되었으며 해조류를 자숙, 추출하고 여과시켜 얻은 한천질을 냉각하여 한천 gel을 만들고, 이것을 겨울철에 동결 및 용해를 반복하여 달수, 건조시켜 한천제품을 만들었다⁴⁾.

한천원료로 사용되는 홍조류는 우뭇가사리속 (*Gelidium sp.*), 개우뭇속 (*Pterocladia sp.*), 새발속 (*Acanthopeltis sp.*), 꼬시래기속 (*Gracilaria sp.*) 및 싹새기속 (*Ahrfeltia sp.*)으로 우뭇가사리, 개우뭇, 새발 등이 주로 이용되며⁵⁾, 우리 나라에서의 연간 한천생산량은 500 M/T 정도로 대부분 수출되고 있다.

한천은 대개 30-40℃에서 gel화되고 가열시키면 용해하는 온도 변화에 따라 gel과 sol의 상태로 변하는 가역성 교질 특성을 가지며⁶⁾, 특히 강한 gel화능으로 점탄성, 보수성, 응고성, 분산성 등이 뛰어나 식품의 첨가물 뿐만 아니라 공업적으로도 널리 쓰인다^{7,8)}.

한천은 gel화능이 강한 중성다당류인 agarose와 황산기를 많이 함유하는 gel화능이 약한 산성다당류인 agaropectin으로 구성되며, agarose의 구조는 1,3위치에 결합하는 β -D-galactose와 1,4 위치에 결합하는 3,6-anhydro- α -L-galactose로 된 이당류인 agarobiose가 직쇄상으로 반복 결합한 것이며^{9,10)}, agaropectin은 D-galactose와 3,6-anhydro-L-galactose가



직쇄상으로 결합한 것에 황산기, uronic acid 및 pyruvic acid 등이 결합한 것으로 알려져 있다^{11,12)}.

한천 gel의 역학적 거동에 주된 영향을 미치는 다당류는 agarose인 것으로 알려져 있으며¹³⁻¹⁶⁾, 뿐만 아니라 agarose와 agaropectin의 조성비에 따라서 한천의 물성은 크게 달라진다¹⁷⁾. 그리고 이들의 조성비는 원조의 종류¹⁷⁾, 채취산지 및 시기¹⁸⁾, 추출조건¹⁹⁾에 따라 달라진다. 또한 Watase²⁰⁾는 동일 속의 우뭇가사리를 동일장소에서 채취하더라도 채취시기가 달라지면 한천 gel의 유동특성이 달라진다고 하였다.

한천에 관한 연구로는 제조기술²¹⁻²³⁾, 건조방법²⁴⁾, 전처리방법에 따른 수율 및 품질특성^{25,26)} 등으로 다양하게 이루어지고 있으나, 한천 gel의 rheology 특성에 대하여는 별로 보고된 바 없다. 최근 천연물질로 부터 얻어진 고분자 다당류에 대한 관심이 높아지면서 산업적 응용범위가 넓혀지고 있다. 고분자 다당류가 가지는 gel화능과 관련하여 다당류 용액의 rheology 특성을 측정함으로써 그 기능적 특성을 알 수 있으며, 기능적 특성에 따라 산업적 응용이 결정된다. 또한 유동학적 특성은 식품 가공중 가열, 열교환, 여과 및 수송 등에 직접 영향을 끼친다.

따라서 본 연구에서는 gel화능이 강하여 이미 식품첨가제, 안정제 등으로 널리 쓰여지고 있으며, 인체내에서의 난소화성이며 저열량 식품으로서의 용도인 식이섬유(dietary fiber)로 새롭게 개발되고 있는 한천을 식품산업에서 신소재로써 기능성 물질로 개발하는데 목적을 두고 그 기초적 연구로서 rheology 특성을 검토하였다.



II. 재료 및 방법

1. 시료

본 연구에 사용한 우뭇가사리(*Gellidium amansii*)는 1994년 5월경 제주도 우도지역에서 채집한 것을 실험실로 운반하여 사용하였다. 채취한 원조는 수세하여 헤파말을 제거한 후 음건하면서 물을 뿌려 색소를 제거한 후 2~3cm 길이로 절단하여 -25℃의 동결고에 보관하여 두고 실험에 사용하였다.

2. 실험방법

(1) 한천의 추출

원조로부터 한천의 추출은 Fig. 1과 같이 행하였다. 즉 원조 60g에 0.01N H₂SO₄용액 1.5L를 가하여 2시간 동안 자숙하여 추출액을 목면 여포를 사용하여 압착 여과하고 여액을 실온에서 방냉, 응고시킨 후, -7℃에서 3시간 예냉시킨 다음 -15℃에서 20시간 동결시키고, 이것을 꺼내어 천일에 의하여 자연용해 및 탈수시킨 다음 가열, 용해, 응고, 동결, 탈수의 조작을 두번 반복함으로써 한천을 정제하고, 55℃의 열풍건조기에서 건조 후 분쇄하여 32~48 mesh의 것을 실험에 사용하였다.

이와같이 하여 얻은 한천의 무게를 달고 수세원조에 대한 한천수율(%)을 무수물로서 계산하여 구하였다.

(2) 유동학적 특성의 측정

한천용액의 조제는 분말한천에 증류수를 가하여 한천농도가 0.5, 1, 2, 3, 4 및 5%로 하고, 95℃에서 20분동안 가열한 후 50~80℃로 냉각시켜

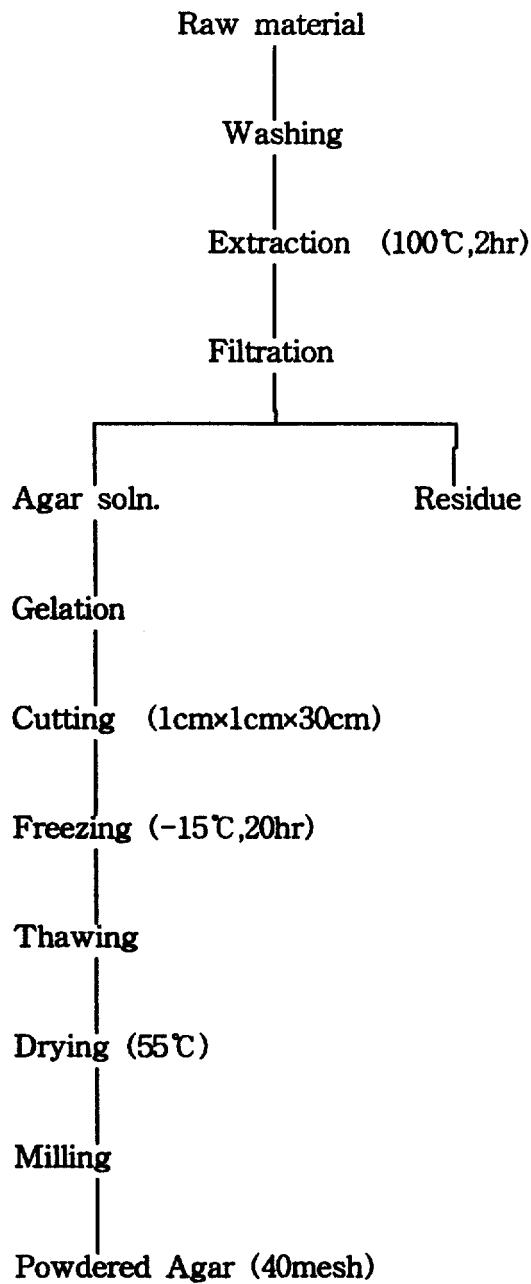


Fig. 1. Flow sheet for the extraction of agar



유동학적 특성의 측정시료로 사용하였다. 유동학적 특성의 측정은 회전 점도계 (Brookfield viscometer DVII+)에 안쪽 실린더의 직경이 2.5cm, 바깥쪽 실린더의 직경 2.75cm, 길이 9.03cm, 시료 용량 22ml인 UL-adaptor를 연결하여 사용하였으며, 회전속도 2~100rpm 의 연속적변화에 따른 torque 변화를 X-Y recorder로 자동 기록하였다.

한천용액의 유동학적 특성은 power law model식²⁷⁾ (1)과 Herschel-Bulkley model식²⁸⁾ (2)를 이용하여 점조도지수 (K, consistency index)와 유동지수 (n, flow behavior index)를 해석하였다.

$$\tau = K \times \gamma^n \quad (1)$$

$$\tau = C + K \cdot \gamma \quad (2)$$

여기서

τ : 전단응력 (shear stress, Pa)

γ : 전단속도 (shear rate, 1/s)

C : 항복력 (yield stress, Pa)

또한 Casson model식²⁹⁾ (3)을 이용하여 한천용액의 항복력 (yield stress)을 구하였다.

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{C} + K \cdot \sqrt{\gamma} \quad (3)$$

식 (3)에서 구한 항복력 C를 사용하여 Herschel-Bulkley 상태방정식을 식 (4)처럼 변형하고, 실험값들로 부터 비선형 최소자승법으로 유동지수 및 점조도지수를 각각 구하였다.

$$\log (\tau - C) = \log K + n \log \gamma \quad (4)$$



(3) 일반성분의 분석

수분은 상압가열건조법, 조지방은 Soxhlet법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl법, 그리고 조회분은 건식회화법으로 각각 구하였다.

(4) Agarose 및 agarpectin의 조성비 측정

Tagawa¹⁷⁾의 방법에 준하여 다음과 같이 하였다. 즉, 분말한천 10g을 50배량의 dimethyl sulfoxide (DMSO)와 함께 60~80℃ 에서 1시간 정도 용해시킨 다음 원심분리하여 용액부와 불용부로 분리한다. 다시 불용부를 소량의 DMSO로 세척하여 용액부에 합한다. 이와같은 조작을 5회 반복한다. 이들 용액을 70℃에서 감압농축하고 3배량의 acetone을 서서히 가한다. 이때 생성되는 침전을 decantation에 의해 분리하고 다시 acetone을 가해 glass filter로 흡인 여과하여 모액을 제거한다. 이 조작을 3회 반복한 후 acetone에 넣어 하룻밤 방치하여 여과하고, 40℃ 이하에서 감압건조하여 백색분말의 agarose를 얻는다.

한편, DMSO에 불용부는 agarose의 경우와 같이 acetone으로 정제하여 황색분말의 agarpectin을 얻는다. 이 들의 양으로 조성비를 구하였다.

(5) Gel화능의 측정

勝浦³⁰⁾의 방법에 준하여 다음과 같이 하였다. 즉 한천용액 10ml 를 지름 15mm 의 시험관에 넣어 수직으로 세우고 밀봉하여 25℃에서 20시간 방치하여 냉각하였다. 다음 이 시험관을 수평으로 눕어서 gel의 표면이 경사 지지 않고 응고할 때의 최저농도(%)를 gel화능으로 표시하였다.



(6) 젤리강도 (jelly strength)의 측정

1.5% 한천용액을 조제하여 20℃에서 15시간 방치한 후 이 gel에 대해 표면적 1cm²당 20초간 견딜 수 있는 최대중량(g/cm²)을 젤리강도측정기 (日寒水式)를 사용하여 측정하였다³¹⁾. 이때 계산식은 다음과 같다.

$$\log W^{20} = \log W + (\log t - \log 20) \quad (5)$$

여기서

W^{20} : 20초간 견딜 때의 최대 그램수

W : 임의의 가중 그램수

t : Wg 가중했을 때 견디는 시간

K : 실험에 의한 측정 계수 (0.18)

를 나타낸다.

실제 측정에 있어서는 20℃의 일정한 온도 유지가 어렵기 때문에 Table 1의 온도환산표를 이용하여 보정계수를 곱하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 원조의 일반성분

1994년 5월경 제주도 우도 연안에서 채취하여 본 연구에 사용한 우뭇가사리의 일반성분을 Table 2에 나타내었다.

조지방 및 조단백질의 함량은 0.23% 및 1.51%로 매우 낮았으나 조회분의 함량은 6.76%로 다소 높게 함유되어 있었다.



Table 1. A table of conversion factors

Temp.(°C)	Correction Factor	Temp.(°C)	Correction Factor
10	0.74	21	1.03
11	0.76	22	1.06
12	0.79	23	1.09
13	0.81	24	1.13
14	0.84	25	1.16
15	0.86	26	1.20
16	0.89	27	1.23
17	0.91	28	1.27
18	0.94	29	1.31
19	0.97	30	1.35
20	1.00		

Table 2. Proximate composition of Cheju seaweed, *Gellidium amansii*

Moisture	20.50 %
Crude protein	1.51 %
Crude fat	0.23 %
Ash	6.76 %



2. 한천의 품질 특성

Table 3에서는 제주도 우도산의 우뭇가사리에서 추출한 한천의 품질특성을 나타내었다. 우뭇가사리를 0.001N H_2SO_4 용액에서 2시간 열수 추출하였을 때의 한천수율은 32.71% 였으며, agarose와 agaropectin의 조성은 agarose가 79%로 높게 나타났다. 그리고 gel화능 및 jelly 강도는 각각 0.19% 및 413.82 g/cm³으로 나타났다.

Fuse³²⁾가 agarose의 gel화능이 agaropectin 보다 20배 정도 강하다고 한 것처럼 agarose 와 agaropectin의 조성비에 따라 gel화능이 크게 달라진다. Tagawa¹⁷⁾는 agarose와 agaropectin의 조성을 임의 조절한 model 실험을 통하여 agaropectin의 함량비가 높아짐에 따라 gel화능이 저하하였고, 이것은 agarose 함량이 낮아지면 가교결합이 적게 일어나 gel구조가 형성되기 어렵기 때문이라고 하였다. 또한 agarose의 비율이 낮아짐에 따라 jelly 강도가 직선적으로 크게 저하하며, agarose 함량이 10% 이하에서는 jelly 강도가 거의 생성되지 않는다고 하였다.

그리고 본 연구에서 사용한 제주도 우도산의 우뭇가사리에서 추출한 한천의 gel화능과 jelly 강도가 부산산 우뭇가사리에서 추출한 한천의 젤리 강도 320~620 g/cm³의 범위²⁴⁾에 속하였고, 남해, 여수 및 완도산 해조에서 추출한 한천의 gel화능 0.25-0.95% 보다 높게 나타난 것은 한천 중의 agarose가 주된 역할을 하며, 제주도산에서는 agarose 함량이 높기 때문이라고 생각된다³³⁾.

3. 농도 및 온도에 따른 전단속도와 전단응력

80℃에서 한천용액의 농도별 (0.5%~5%)에 따른 전단속도($\dot{\gamma}$)와



Table 3. Characteristics of agar from Cheju seaweed, *Gellidium amansii*

Yield (%)	32.71
AG : AP ^{a)}	79 : 21
Gelation ability (%)	0.19
Jelly strength (g/cm ²)	413.82

a) AG : agarose , AP : agaropectin

전단응력(τ)과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 한천용액의 농도에 관계없이 전단속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하여 비뉴우톤 유체(non - Newtonian fluid)의 거동을 나타내었다. 이러한 비직선적 경향은 한천용액의 농도가 높을수록 심하게 나타났다. 이것은 한천용액의 농도가 낮을 때에는 binghamplastic 특성을 나타내었으며, 농도가 높아짐에 따라 pseudoplastic 특성을 나타내었다. 그리고 온도 60℃ 및 50℃의 경우를 Fig. 3 및 4에 나타내었다. 한천용액의 온도가 낮아짐에 따라 전단속도의 변화에 대하여 전단응력이 크게 증가하는 비직선적 경향을 크게 나타내었으며, 50℃의 경우는 저농도의 한천용액에서도 pseudoplastic 특성이 뚜렷이 나타났다. 이것은 온도가 낮아짐에 따라 한천용액의 유동에 대한 저항력이 커지기 때문으로 생각된다.

4. 농도 및 온도에 따른 항복력

대부분의 비뉴우톤 유체의 거동은 유동의 상태방정식인 Herschel-

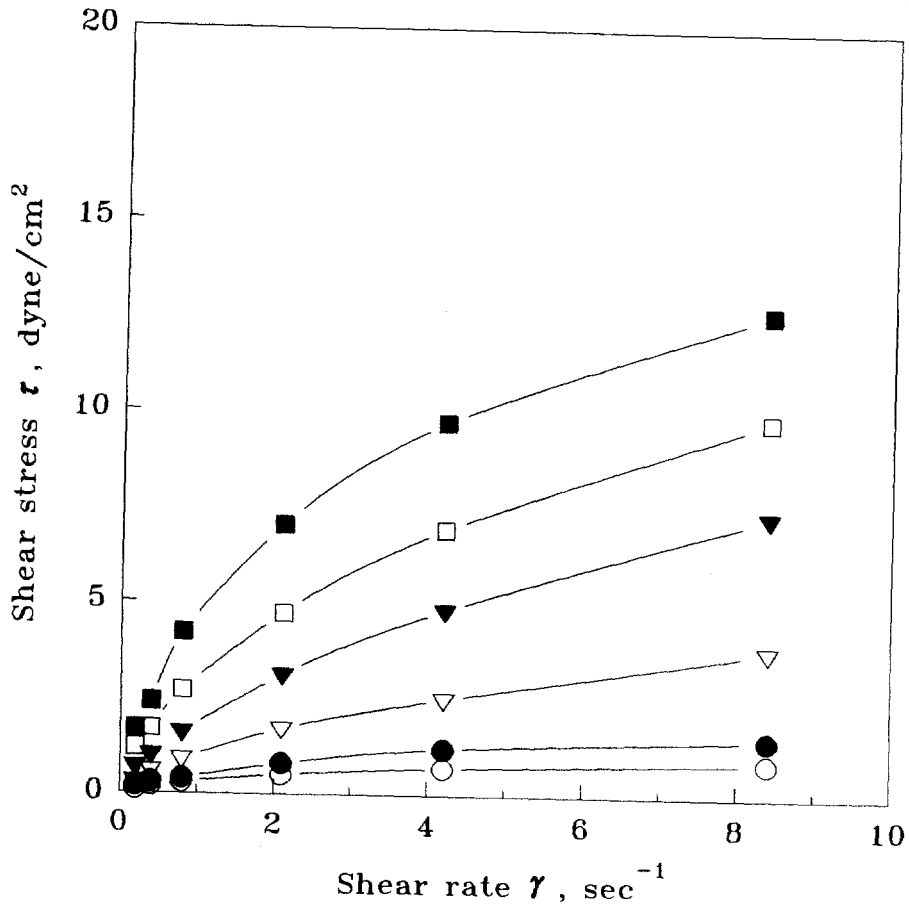


Fig. 2. Relationships of shear stress against shear rate of agar solutions at 80°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

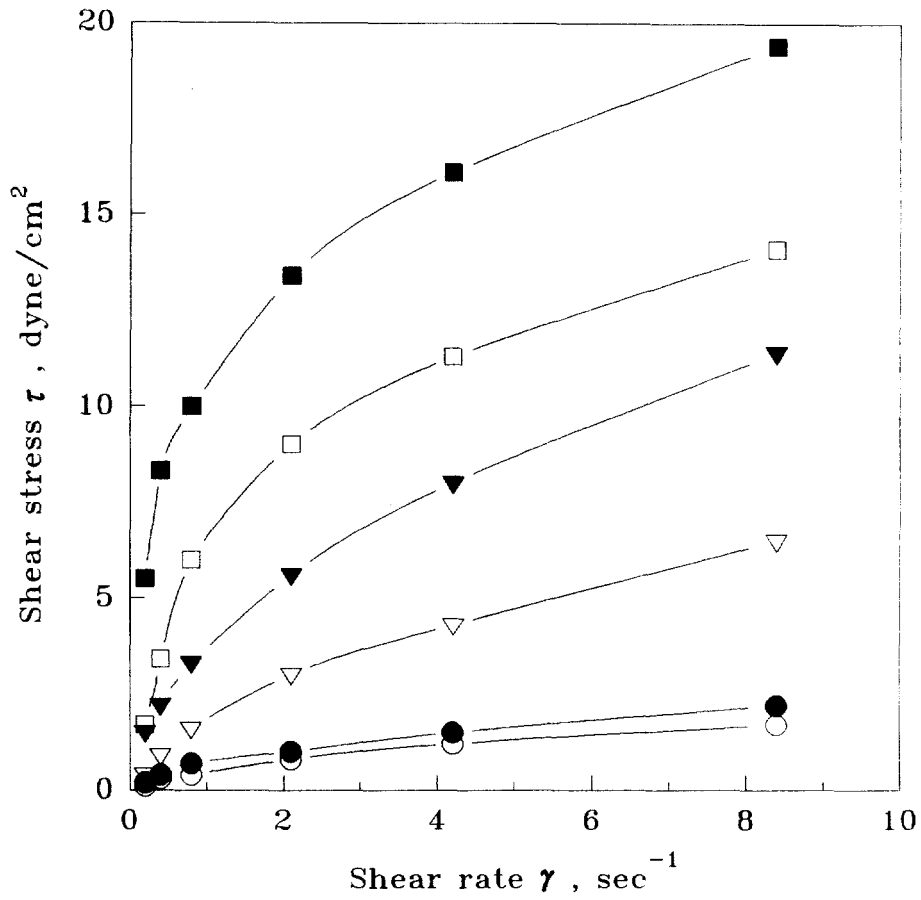


Fig. 3. Relationships of shear stress against shear rate of agar solutions at 60°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

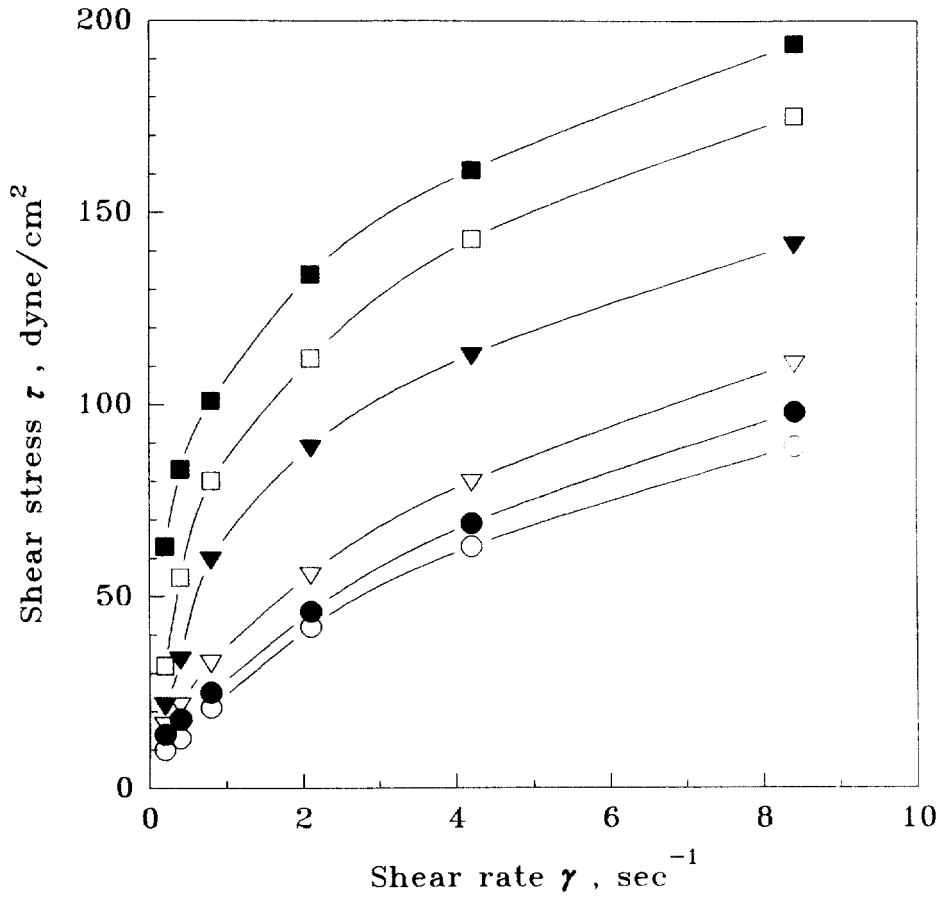


Fig. 4. Relationships of shear stress against shear rate of agar solutions at 50°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .



Bulkley 모형³⁴⁾으로 설명 할 수 있다. 이 모형은 전단응력에서 항복력의 크기를 제외한 응력값과 전단속도의 양대수(log-log) 그래프에서 직선관계를 보인다. 한천용액의 항복력을 구하기 위하여 Fig. 5에서 80℃의 한천 용액의 농도별에 따른 $\sqrt{\tau}$ 와 $\sqrt{\gamma}$ 를 나타내었다. 농도에 관계없이 직선관계를 보여 Casson 모델²⁹⁾에 잘 적용되었으며, 절편값으로 부터 구한 항복력 값은 한천농도 0.5, 1, 2, 3, 4 및 5%에서 각각 0.09, 0.12, 0.16, 0.30, 0.64 및 1.21 dyne/cm² 이었다.

그리고 60℃ 및 50℃의 한천용액에 대한 $\sqrt{\tau}$ 와 $\sqrt{\gamma}$ 를 Fig. 6 및 7에 나타내었다. Fig. 7에서 처럼 한천용액의 농도가 50℃로 낮아지면 항복력은 크게 증가하였다. 즉 한천용액의 농도 0.5, 1, 2, 3, 4 및 5%에서 항복력 값은 각각 4.84, 7.29, 10.56, 20.07, 30.91 및 58.37 dyne/cm²으로 나타났다. 여기서 구한 항복력을 농도별로 온도에 따른 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 한천용액의 온도가 60℃ 및 80℃에서는 변화가 크지 않았으며 한천의 농도가 4% 이상에서는 항복력이 증가하였다. 그리고 온도가 낮아질수록 항복력이 증가하는 경향을 보이며, 농도가 높을수록 온도에 의한 영향을 크게 받았다.

5. 유동 특성

전단응력에서 항복력을 뺀 값의 대수인 $\log(\tau - C)$ 와 $\log \dot{\gamma}$ 와의 관계를 80℃ 및 60℃에서 한천용액의 농도별로 Fig. 9 및 10에 나타내었다. 그리고 Herschel-Bulkey식으로 부터 80℃, 60℃ 및 50℃에서 한천용액의 농도별에 따라 유동특성값인 유동성지수와 점조도지수를 구하여 항복력과 함께 각각 Table 4, 5 및 6에 나타내었다.

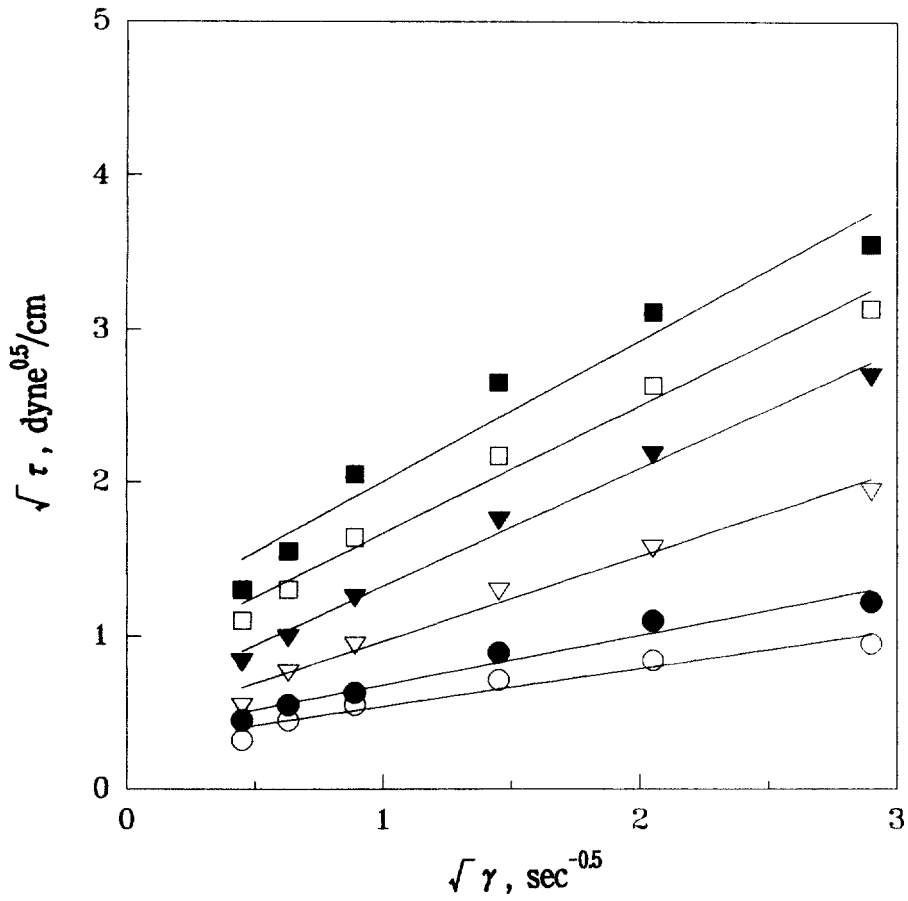


Fig. 5. Plot of $\sqrt{\tau}$ vs $\sqrt{\dot{\gamma}}$ of agar solutions at 80°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

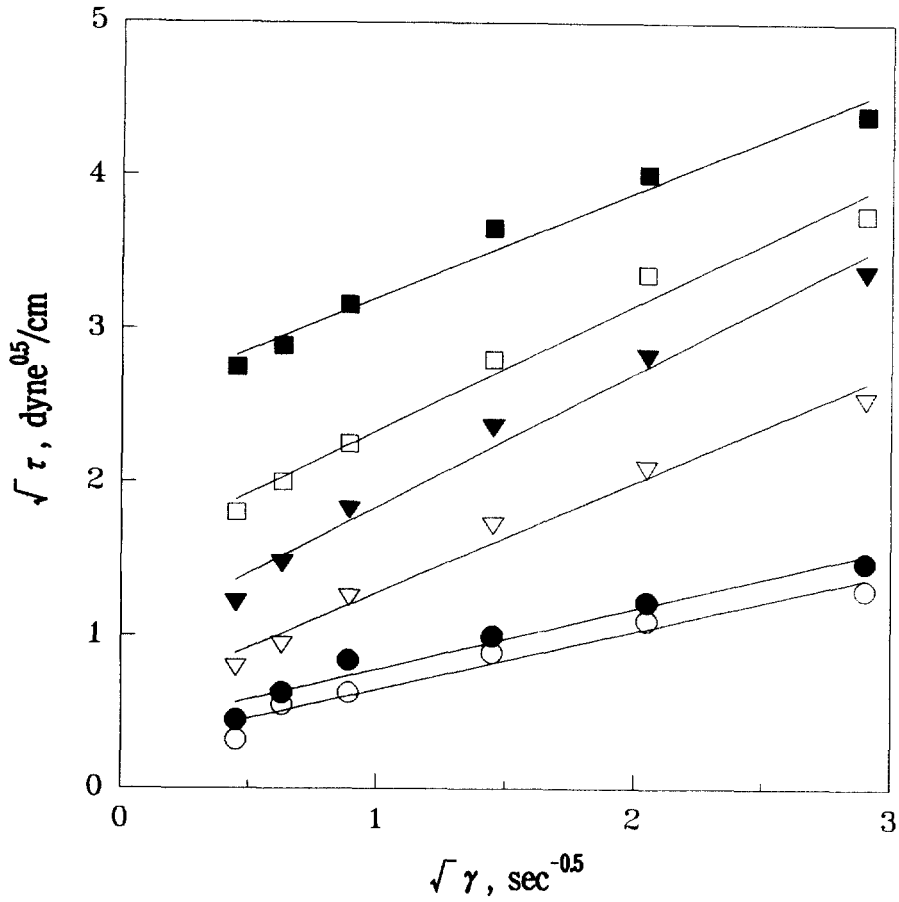


Fig. 6. Plot of $\sqrt{\tau}$ vs $\sqrt{\dot{\gamma}}$ of agar solutions at 60°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

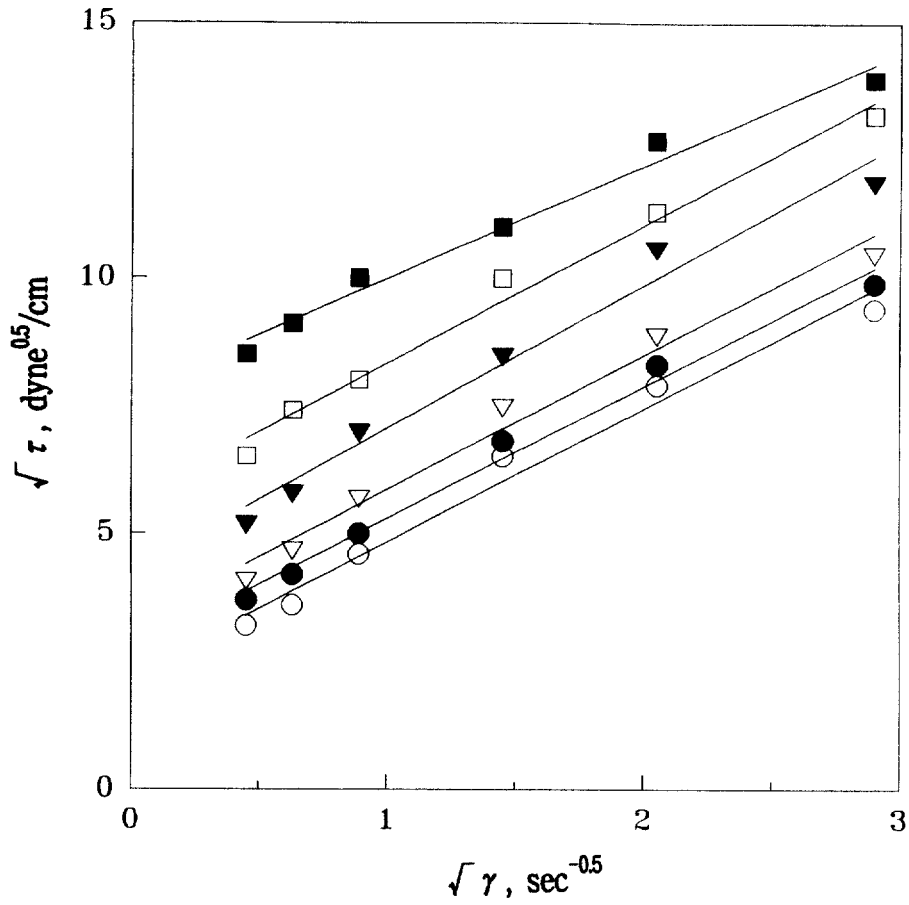


Fig. 7. Plot of $\sqrt{\tau}$ vs $\sqrt{\dot{\gamma}}$ of agar solutions at 50°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

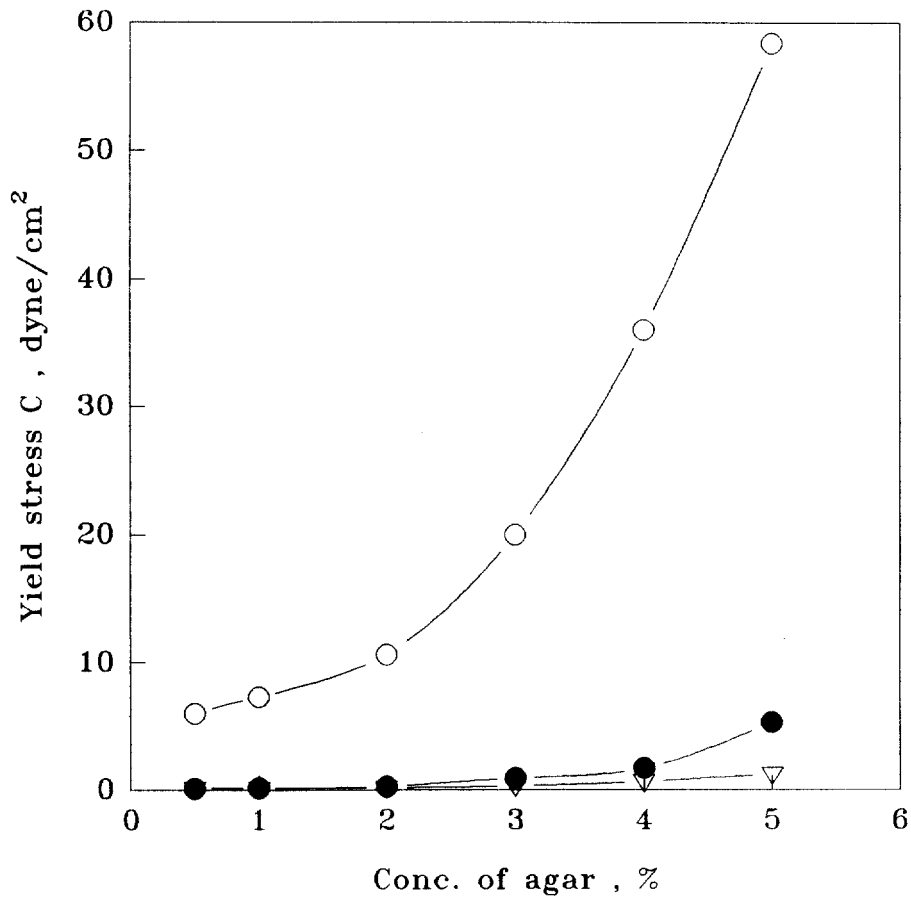


Fig. 8. Yield stress as a function of concentration for agar solutions at different temperature.

○ : 50°C, ● : 60°C, ▽ : 80°C.

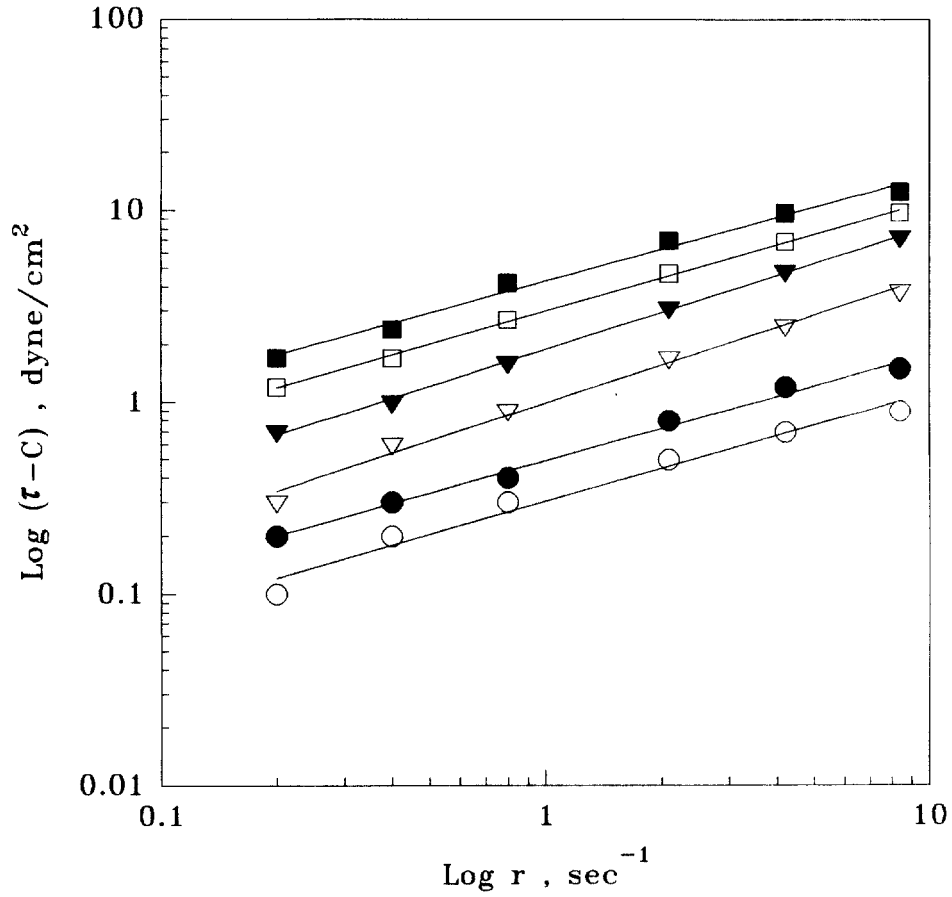


Fig. 9. Power law curves of agar solutions at 80°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .

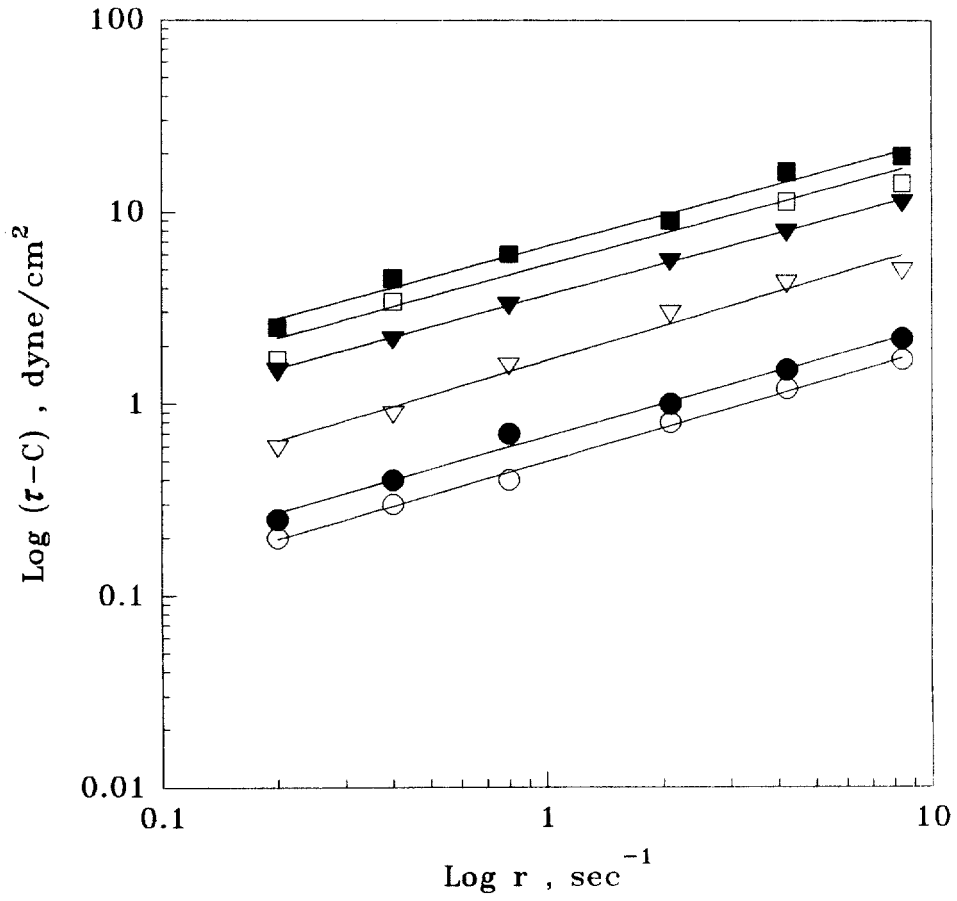


Fig. 10. Power law curves of agar solutions at 60°C.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .



온도 80℃에서는(Table.4) 유동성지수가 0.62~0.69의 범위로 비뉴우튼 유체로서 거동하였으며, 농도가 높아짐에 따라 다소 감소하였다. 그리고 점조도지수는 0.12~1.26 Pa·sⁿ의 범위로 농도가 높아짐에 따라 약간 증가하였다. 그리고 온도 50℃에서는(Table 6) 유동성지수가 0.34~0.64 범위로 80℃의 경우에 비하여 범위의 폭도 컸으며, 농도증가에 따른 유동성지수의 감소 폭도 컸다. 그리고 점조도 지수는 60℃에서(Table 5) 0.12~7.28 Pa·sⁿ의 범위보다 훨씬 높은 3.9 ~ 19952.6 Pa·sⁿ의 범위로 한천 농도가 4~5%로 높아질수록 기하급수적으로 증가하였다. 이것은 한천용액이 용고온도에 가까워져 다소 용고가 일어났기 때문으로 생각된다. 전체적인 경향으로 유동성지수는 농도가 증가함에 따라 다소 감소하며, 온도가 감소함에 따라서 역시 다소 감소하여 pseudoplastic 특성은 약간 강해졌다. 그리고 점조도 지수와 항복력은 농도가 증가할 수록 다소 증가 하였으며, 특히 온도가 감소할 수록 크게 증가하였다.

6. 점조도지수의 농도 및 온도 의존성.

점조도지수 K값의 농도 의존성을 검토하기 위하여 농도별로 log K 를 Fig. 11에 나타내었다. 한천용액의 농도 0.5-5% 범위에서 기울기가 서로 다른 두개의 직선관계를 보였으며, 직선의 기울기가 달라지는 한천용액의 농도는 2%였다. 2%이상의 한천농도에서는 기울기가 급격하여 한천의 농도에 따라 그 의존성이 달라짐을 나타내었다. 그리고 온도가 낮아질수록 직선의 기울기가 커져 한천용액의 온도에 따라 농도의존성도 다소 영향을 받는 것으로 보였다. 점조도지수는 농도 뿐만 아니라 온도의 영향도 받는다. 한천용액의 점조도지수에 대하여 측정온도의 의존성을 검토하기 위하여 log k 와 1/T과의 관계를 Fig. 12에 나타내었다. 온도가 증가할수록 점조도지수는 감소하는 전형적인 유체의 특성을 나타내었으며, 농도에 무관하게 직선 관



계를 보여 한천용액의 점조도지수의 온도의존성은 아래의 Arrhenius식에 따르는 것을 나타내었다³⁵⁾.

$$K = A_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (6)$$

여기서 A_0 는 빈도인자($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-n}$), E_a 는 활성화에너지($\text{Kcal/g} \cdot \text{mol}$) 그리고 R 은 기체상수($1.987 \text{ Kcal/mol} \cdot \text{K}$)이다. Fig. 12에서 한천용액의 농도별로 직선의 기울기로 부터 구한 활성화에너지는 0.5, 1, 2, 3, 4 및 5%에서 각각 0.09, 0.04, 1.59, 6.36, 9.54 및 13.51 $\text{Kcal/g} \cdot \text{mol}$ 이었다.

유동의 활성화에너지가 고농도에서 증가하는 것은 저농도에서 유체가 갖는 유동의 활성화에너지 이외에 고농도에서는 분자간의 구조 활성화에너지가 필요하며³⁶⁾, 한천용액의 농도가 높아질수록 활성화 에너지가 증가하는 것은 한천의 내부 결합력 즉 유동에 대한 저항과 온도의존성이 큼을 나타낸다. 그리고 50℃에서 높은 활성화에너지 값을 보이는 것은 한천의 용고온도에 가까워져 다소의 용고가 일어나기 때문으로 생각된다.

Table 4. Rheological parameter of agar solutions at 80℃

Conc. (%)	Yield Stress (dyne/cm ²)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
0.5	0.09	0.12	0.69
1	0.12	0.13	0.69
2	0.16	0.17	0.68
3	0.30	0.26	0.67
4	0.64	0.63	0.66
5	1.21	1.26	0.62



Table 5. Rheological parameter of agar solutions at 60°C

Conc. (%)	Yield Stress (dyne/cm ²)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
0.5	0.12	0.12	0.67
1	0.16	0.15	0.62
2	0.25	0.20	0.60
3	0.90	1.01	0.56
4	1.69	3.16	0.49
5	5.29	7.28	0.46

Table 6. Rheological parameter of agar solutions at 50°C

Conc. (%)	Yield Stress (dyne/cm ²)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
0.5	4.84	3.9	0.64
1	7.29	7.8	0.59
2	10.56	12.6	0.51
3	20.07	63.1	0.47
4	30.91	501.2	0.41
5	58.37	19952.6	0.34

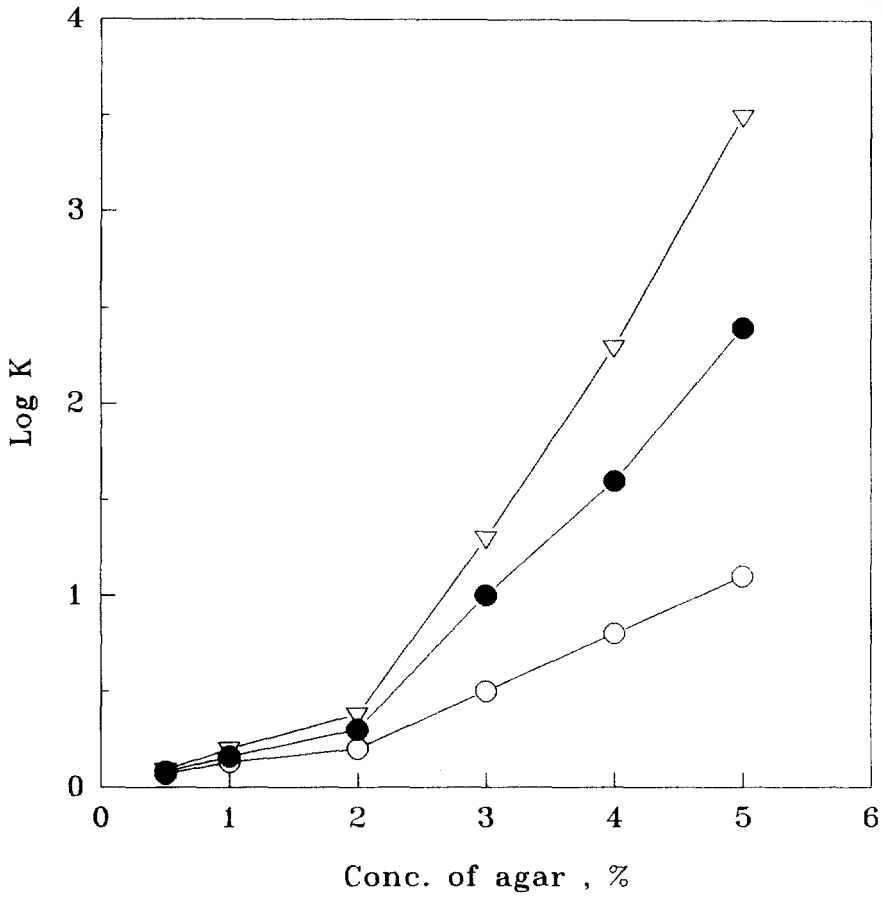


Fig. 11. Effect of concentration on consistency index of agar solutions at different temperature.

▽ : 50°C, ● : 60°C, ○ : 80°C.

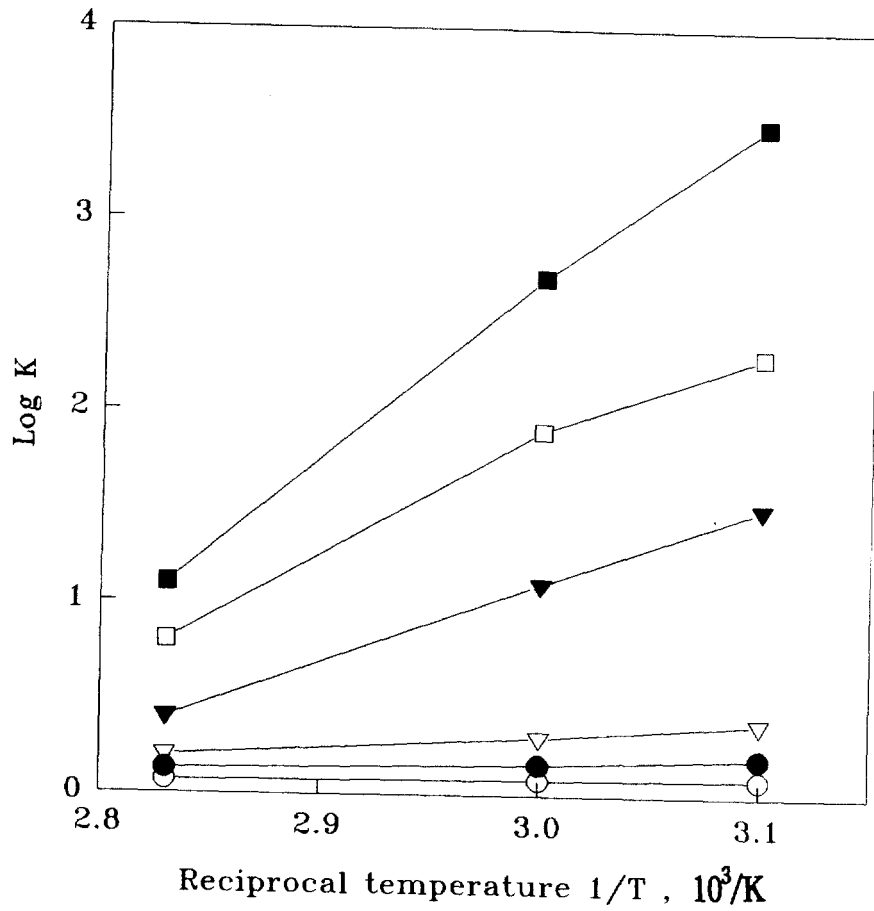


Fig. 12. Arrhenius plot of agar solutions at different concentrations.

○ : 0.5% , ● : 1% , ▽ : 2% , ▼ : 3% , □ : 4% , ■ : 5% .



IV. 요약

한천의 기능적 특성을 밝히기 위하여 제주도 우도산 우뭇가사리로 부터 한천을 열수 추출하여 유동학적 특성을 검토하였다.

제주도 우도산 우뭇가사리로 부터 한천의 추출수율은 32.71%, agarose와 agaropectin의 함량비는 79:21 이었고, gel화능은 0.19% 및 jelly 강도는 413.82 dyne/cm²이었다.

한천용액은 비뉴우튼 유체의 거동을 보였으며, 농도가 높아짐에 따라 pseudoplastic 특성을 나타내었다.

한천용액의 유동특성값으로 유동성지수는 0.5~5%의 범위에서 80℃, 60℃ 및 50℃에서 각각 0.62~0.69, 0.46~0.67 및 0.34~0.64이었으며, 농도의 증가에 따라 감소하였다. 그리고 점조도지수는 0.12~1.26 Pa·sⁿ, 0.12~7.28 Pa·sⁿ 및 3.9~19952.6 Pa·sⁿ이었고, 항복력은 0.09~1.21 dyne/cm², 0.12~5.29 dyne/cm² 및 4.84~58.37 dyne/cm²으로 이 들은 농도가 증가할수록 그 값이 증가하였다.

점조도지수의 농도의존성은 한천농도 2%를 경계로 기울기가 서로 다른 두개의 직선관계를 보였으며, 온도의존성은 Arrhenius식에 잘 따랐으며, 한천용액의 농도가 0.5 ~ 5%에서 활성화에너지는 0.09~13.51 Kcal/g·mol 이었다.



참 고 문 헌

1. Matsushashi, T. 1977. Acid pretreatment of agarophytes provides improvement in agar extraction. *J. Food Sci.*,42, 1396~1400.
2. 林金雄・岡崎彰夫. 1970. 寒天ハンドブック, 光琳書院, 東京. P.9.
3. Glicksman, M. 1968. *Gum technology in the food Industry*, Academic Press, New York and London. p.204.
4. 同塵子. 1980. 食品素材として海藻類の栄養生理効果について, *New Food Industry*. 22, 2~11.
5. 林金雄・岡崎彰夫. 1970. 寒天ハンドブック, 光琳書院, 東京. P.15.
6. 岩本康三. 1975. 食品および食品加工用原藻として藻類, *New Food Industry*. 17, 1~6.
7. 長谷川忠男・相澤孝亮・片岡榮子. 1976. 食品酵素高分子學概論海藻形多糖類, 東京. PP.157~163.
8. 井川正二郎. 1980. 海藻抽出物としてカラキナンについて, *New Food Industry*. 22, 12~16.
9. Araki,C. and S. Hirase.1960. Studies on the chemical constitution of Agar-gaar. *Bull. Chem. Soc. Japan*, 33, 597~600.
10. Araki, C., K. Ari and S. Hirase. 1967. Studies on the chemical constitution of agar-agar 23, isolation of D-xylose, 6-O-methyl-L-galactose, 4-O-methyl-L-galactose and 4-O-methyl-pentose. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 40. 959~963.
11. 荒木長次. 1937. 寒天の化學的研究.第2報 テングサ寒天質について. 日



- 化., 58, 1214~1218.
12. Hayashi, K. and T. Hiramitsu. 1970. Separation of agarose and agaropectin from agar. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 17, 575~580.
 13. Fuse, T. and K. Katsuura. 1967. The properties of agarose and agaropectin solution isolated by sodium iodide. *Kogyo Kagaku Zasshi*, 70, 724~728.
 14. Tagawa, S. 1966. Separation of agar-agar by dimethylsulfoxide into agarose and agaropectin. *Cont. Shimonoseki Univ. Fish.*, 14, 165~171.
 15. Izumi, K. 1971. Chemical heterogeneity of the agar from *Gellidium amansii*. *Carbohyd. Res.*, 17, 227~230.
 16. Watase, M. 1973. Rheological studies of various kinds of agar gels. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish*, 20, 173~179.
 17. Tagawa, S. 1969. Chemical studies on manufacture of agar-agar. *Cont. Shimonoseki Univ. Fish.*, 17, 1~52.
 18. Goto, F. and T. Fuse 1971. Some properties of agarose and agaropectin isolated from various mucilaginous substances of red seaweeds. *Agr. Biol Chem.*, 35, 799~804.
 19. Tagawa, S. and Y. Kojima. 1974. Compositional differences of agar polysaccharide of *Gellidium amansii* through various extracting conditions. *Cont. Shimonoseki Univ. Fish.*, 22, 67~75.
 20. Watase, M. and K. Nishinari. 1981. Rheological studies of



- agar-agar gels prepared from makusa (*Gellidium amansii*) gathered in different seasons. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 28, 437~443.
21. Lian, T. S. 1949. Dutch Patent, 63, 631. (Chem. Abstr, 43, 8580, 1949.)
22. Funaki, k. 1953. Japan Patent, 3, 180. (Chem. Abstr,48, 7822, 1954.)
23. Tokuzawa, Y. 1953. Japan Patent, 3, 180. (Chem. Abstr, 48, 7822, 1954.)
24. 李哲 · 喪松換. 1984. 한천 추출물의 건조방법에 따른 한천의 품질, 한국식품과학회지. 16. 78~82.
25. 李 瑞來 · 趙 漢玉 · 朴 尙基. 1975. 국산 원조의 전처리 과정에 따른 한천의 수율 및 품질특성. 한국식품과학회지. 6. 109~114.
26. 趙 漢玉 · 鄭 萬在 · 李 瑞來, 1975, 수입원조의 전처리 과정에 따른 한천의 수율 및 품질특성, 한국식품과학회지. 16. 115~120.
27. Rao, M. A. and R. C. Anantheswaran. 1982. Rheology of fluids in food processing. Food Technol, 36, 116~120.
28. Vitali, A.A. and M. A. Rao. 1984. Flow properties of low - pulp concentrated orange juice effect of temperature and concentration. J. Food Sci, 49, 882~886.
29. Charm, S. E.1963. The direct determination of stress-shear rate behavior of foods in the presence of a yield stress. J. food Sci, 28, 197~202.



30. 勝浦嘉久次・鈴木昭三郎. 1956. 紅藻類粘質物の電解基組成とジェリー形成能の關係, 工化. 59, 1067~1069.
31. 林金雄・岡崎彰夫. 1970. 寒天ハンドブック, 光琳書院, 東京. P.334.
32. Fuse, T. and K. Katsura. 1965. Some properties of agarose and agaropectin isolated from agar. *Kogyo Zasshi*. 68, 205~209.
33. 윤형식・박영호. 1984. 한천의 agarose 및 agaropectin의 조성에 관한 연구. (1) 산지별에 따른 agarose와 agaropectin의 조성차이, 부산수산대연보. 24. 37~43.
34. Holdsworth, S.D. 1971. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior on fluid food products. *J. Texture Studies*, 2, 393~398.
35. Royer, G. P. 1982. In fundamentals of enzymology. John Wiley and Sons, P. 59.
36. Glasstone, S., K. J. Laidorer and H. Eyring. 1941. The theory of rate process, McGraw-Hill Co, New York. P. 254.



감사의 글

본 논문을 완성하기까지 세심한 지도와 끊임없는 사랑과 이해로 가르쳐 주신 강훈이 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 평소 자상한 충고와 조언을 해주신 배태진 교수님, 강태중 교수님, 김우준 교수님, 신석우 교수님, 김귀식 교수님, 박춘규 교수님께 감사를 드립니다.

그리고 실험실에서 같이 땀을 흘렸던 식품가공실험실의 여러분께도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 보살펴 주신 부모님, 묵묵히 뒷바라지해 준 아내와 경민, 은진이에게 이 결실을 드립니다.