지대치의 재료와 Clasp 재료 사이의 마찰계수와 원형 clasp의 유지력 추정

光州保健大學 齒技工科
林 東 天

=Abstract=

Fiction Coefficient between Abutment Materials and Clasp Materials and Estimation of Retention Force of Circumferential Clasp

Lim, Dong Chun

Dept. of Dental Laboratory Technology, Kwangju Health College.

The purpose of this study is to evaluate the friction coefficients between abutment materials and clasp materials, and to an estimation formula for retention force.

The coefficients of friction between three clasp materials and four abutment materials were measured under various conditions, polished and sandblasted and wet and dry.

The measurement was repeated for each combination up to a total measurement of 1200 times.

Estimation formula for retention force is measured as sum of two terms, which the one time is proportional to the product of friction coefficient μand undercut u and the other term is proportional to u-squared.

Two proportional coefficient were obtained by least square method.

The results are as follows:

1. Friction coefficients were ranged from 0.08 to 0.53 under various conditions.
2. Friction coefficients of non-metal abutment materials are greater in wet conditions than dry conditions.
3. Friction coefficients of sandblasted clasp against abutment are greater than that of polished clasp.
4. Clasp retention force can be estimated with the model as $F=F_d(3.0\,\mu u + 1.5u^2/h)$ with minor error.

목 차

Ⅰ. 서 론

Clasp의 유지력은 가철성 국소의치를 위한 중요한 요소 중의 하나이다.

Applegate와 LaVere는 지대치에 시적되는 clasp 여러 부분의 적합도, 유지암의 탄력성, 지대치의 조건 등에서 clasp의 유지력을 결정하였다.

지대치에 대한 clasp의 부적합도는 유지가 감소될 수 있고, clasp에 변형이 초래되었다면 그 결과로서 유지력을 잃을 수도 있다. 적합면에서 정확도는 인상채득과 주조과정에 의하여 좌우된다.

유지암의 탄력성은 clasp의 크기와 구성성분을 이루는 합금의 특성에 의해 영향을 미친다.

탄력성은 유지력 제어를 위하여 쉽게 조절할 수 있고, clasp의 크기와 탄력성 사이의 단순한 유지관계는 유한요소법에 의하여 해명할 수 있다.

Clasp의 유지력에 대한 지대치의 조건들은 지대치와 clasp의 사이에서 지대치의 형태와 마찰계수를 포함한다. 이러한 마찰계수는 clasp의 유지에 커다란 영향을 미친다. 자연치와 clasp 사이에서의 마찰계수는 0.2로 보고된 바 있다. 그렇지만 마찰계수가 clasp의 유지에 영향을 미친다는 것과 회복된 지대치와 여러 가지 clasp 재료들 사이의 마찰계수가 다르다는 것은 아직 명확하지 않다.

따라서 이 연구의 목적은 건조와 젖은 상태의 조건 아래, 자연치, 도재 및 주조된 지대치의 재료와 연마되었거나 sandblasted clasp의 재료사이에서 마찰계수의 측정과 이론적으로 원형 clasp의 유지력을 추정해 보고자 한다.

Ⅱ. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 기구

① Dental stone ; MARUISHI GYPSUM Co., Japan
② Wax ; Green Inlay Wax(Hard type I, Class I), KERR, U.S.A.
Sheet wax ; Dae Dong Chemistry Co, KOREA.
③ Metal ; Gold, SOO SUNG DENTAL Co, KOREA.
Palladium, ENGELHARD Co., KOREA.
Vera PDS™, AALBA DENT INC., U.S.A.
Sankin CB 80 alloy, sankin KOGYO.K.K. Japan.
④ Investment ; Cristobalite investment, WHIP MIX Co. U.S.A.
Multi-vest Investment, Denslpy International Inc., U.S.A
Uno-vest, Boo Pyung Dental Chemicals Co., KOREA.
⑤ Porcelain powder ; CERAMAX ALPHADENT Co., KOREA
⑥ Electric furnace ; Electric furnace, Sae Ki Electronics Co. KOREA.
⑦ High frequency casting machine ; Engel Jelenko, U.S.A
⑧ Sandblaster ; Sandblaster DUOSTER Z_2, Bego Co., U.S.A.
⑨ FRAGILE-DELICATE INSTRUMENT ; descom scales mfg Co., KOREA

2. 실험방법

1) 시편제작

시편제작을 위한 치아모델은 자연치아인 하악 제 2 소구치를 이용하여 그 치아의 협측 반정도를 삭합해 mold의 형태로 제작한 후, 지대치를 제작하였다.

지대치로사용되는 금속의 시편을 위하여 wax로 조각하고, 제조회사의 지시에 따라 메몰, 소환, 금속을 용융하여 주조한 후, 연마를

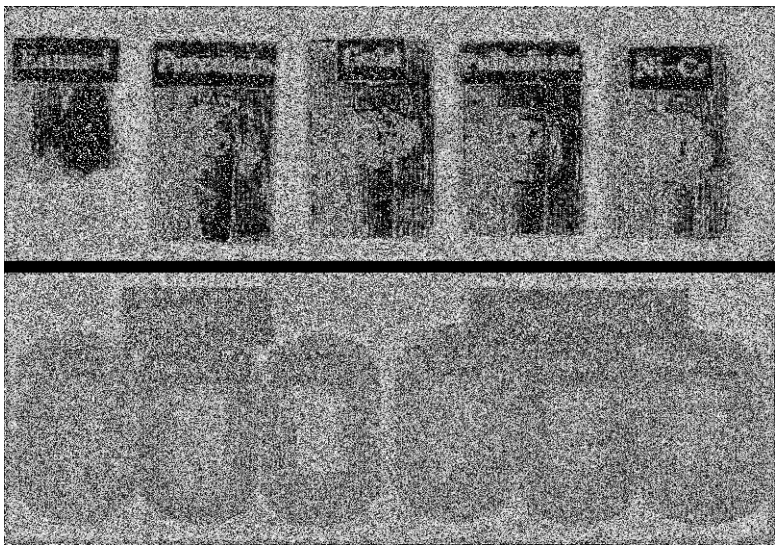

Fig 1. 완성된 지대치(A)와 clasp 재료(B)의 시편

하여 지대치에 부착하였다. 지대치로 사용되는 도재의 시편은 순수한 도재만으로 제작하기 위하여 진공상태에서 소성한 후, 완성하여 silicone point로 연마하고 광택을 내었다. Sheet 형태의 clasp 시편은 0.8×13×8mm 크기의 mold를 제작하여 wax pattern을 제작한 후, 메몰, 소환, 금속을 용융하여 주조한 다음, 표면을 25 μm 직경을 가진 alumina 분말로 sandblasting 하였거나 거울같은 면으로 연마하였다.

완성된 지대치와 clasp의 시편은 Fig. 1에 나타나 있다.

2) 마찰계수의 측정

마찰계수의 측정을 위해 제작한 기구의 단면은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 수평력(F)은 지대치의 재료의 움직임을 생성하는데 사용하였고, 하중(P)는 500g(gw)으로 하였으며, 마찰계수는 F/P에 의하여 산출하였다.

시편의 마찰계수는 건조 조건에서 측정하였고, saliva로 젖은 조건에서도 측정하였는데 saliva는 실험을 위해 같은 사람의 것을 사용하였다. 마찰계수의 측정은 Fig. 3에 나타나 있다. 측정은 각각의 조합으로 반복하여 총 1200회를 측정하였다.

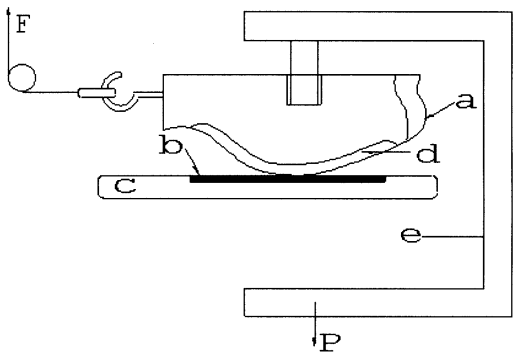

Fig 2. 마찰계수의 측정을 위한 기구의 단면
a, 지대치 재료 ; b, clasp 재료; c, clasp 재료를 경석고로 고정; d, 도재; e, 하중을 위한 금속구조물; P, 하중; F, 수평력

III. 결과 및 고찰

건조와 젖은 상태의 조건 아래, 자연치, 도재 및 주조된 지대치의 재료와 연마되었거나 sandblasted clasp의 재료사이에서 clasp의 유지에 대한 마찰계수를 측정한 결과는 <Table 1~2>에 나타나 있다.

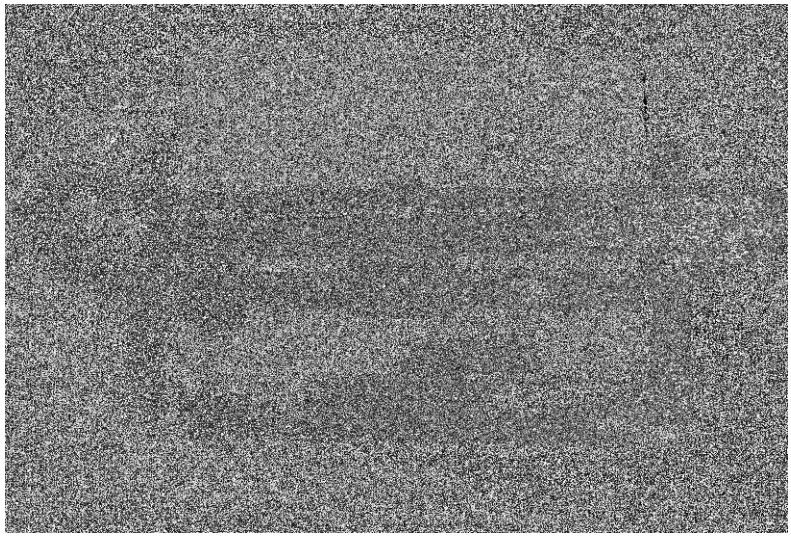

Fig 3. 마찰계수의 측정

Table 1. Clasp 재료와 지대치 재료와의 마찰계수의 측정결과

Abutment materials	Dry Clasp material					
	Palladium		Gold		Co-Cr	
	[a]P	[b]S	P	S	P	S
Enamel	*0.13±0.01	0.19±0.01	0.11±0.01	0.18±0.01	0.09±0.01	0.21±0.01
Porcelain	0.13±0.01	0.25±0.01	0.11±0.01	0.19±0.01	0.09±0.01	0.25±0.01
Gold	0.12±0.01	0.20±0.02	0.11±0.01	0.25±0.02	0.08±0.01	0.53±0.02
Palladium	0.13±0.01	0.20±0.01	0.13±0.02	0.21±0.01	0.09±0.01	0.43±0.03
Ni-Cr	0.11±0.01	0.22±0.01	0.12±0.01	0.19±0.01	0.09±0.01	0.24±0.01

Abutment materials	Wet(saliva) Clasp material					
	Palladium		Gold		Co-Cr	
	[a]P	[b]S	P	S	P	S
Enamel	*0.13±0.01	0.19±0.01	0.11±0.01	0.17±0.01	0.09±0.01	0.21±0.01
Porcelain	0.13±0.01	0.25±0.01	0.11±0.01	0.20±0.01	0.10±0.01	0.26±0.01
Gold	0.12±0.01	0.20±0.02	0.11±0.01	0.23±0.02	0.09±0.01	0.50±0.02
Palladium	0.13±0.01	0.20±0.01	0.13±0.02	0.21±0.01	0.09±0.01	0.44±0.03
Ni-Cr	0.11±0.01	0.22±0.01	0.12±0.01	0.20±0.01	0.09±0.01	0.23±0.01

a, P : polished ; b, S : sandblasted

*, M±S.D

Table 2. 각 그룹으로 분류된 마찰계수의 범위

Abutment materials	Dry Clasp material				Wet(saliva) Clasp material			
	Soft		Hard		Soft		Hard	
	[a]P	[b]S	P	S	P	S	P	S
Non-metal	*0.11-0.13	0.18-0.25	0.09	0.21-0.25	0.12-0.16	0.17-0.26	0.09-0.10	0.21-0.26
Metal	0.11-0.13	0.20-0.25	0.08-0.09	0.24-0.53	0.14-0.18	0.21-0.24	0.09	0.44-0.50

a, P : polished ; b, S : sandblasted

*, Mean

<Table 1>에 나타난 바와 같이 건조와 젖은 상태에서 측정한 연마된 그룹과 sandblasted의 그룹에서 지대치의 재료와 clasp 재료의 마찰계수는 0.08 ~ 0.53의 범위를 나타났다.

<Table 2>는 결과에 따라 metal과 non-metal의 그룹으로 분류하였는데, clasp의 재료는 soft metal(Type IV gold와 High palladium alloy)과 hard metal(cobalt-chrimium alloy)로 구분하고, 지대치의 재료는 non-metal 그룹(Enamel과 porcelain), Metal 그룹(type IV gold, High palladium alloy, Nickel-Chromium alloy)으로 분류하여 나타낸 것이다.

IV. 고 찰

1. 마찰계수

본 실험에서 자연치, 도재, 주조된 지대치의 재료와 연마되었거나 sandblasted clasp 재료의 사이에서 마찰계수를 살펴보면 <Table 1>에 나타난 바와 같이 마찰계수는 지대치의 재료와 연마된 clasp의 재료에서 전반적으로 유사하게 나타났고, 이에 비해 지대치의 재료와 sandblasted clasp의 재료에서는 높게 나타났다.

Norman의 보고에 의하면 연마된 Co-Cr합금은 다른 재료와 조합되었거나 또는 반대되었을 경우에 상대적인 마찰저항에서 일관되게 낮았고, clasp tip 내면을 연마한 후의 마찰계수는 지대치 재료의 사이에서 차이가 없었다고 한 바, 이는 본 실험과 일치함을 알 수 있었다.

Clasp의 유지는 지대치에 시적되는 clasp 여러부분의 적합도, 지대치의 조건, 유지암의 탄력성 등에서 결정된다.

지대치에 시적되는 clasp 여러부분의 부적합은 결과로서 유지력을 잃을 수 있고, 함몰부위에서 유지력의 감소를 나타낼 수 있다.

이러한 적합의 정확도는 인상채득과 주조과정에 의하여 좌우된다고 할 수 있으며, 이 과정의 개발에 의존하는 기초적인 면만을 생각한다면 유지력의 조절은 어렵다고 할 수 있다.

WARR의 보고에 의하면 지대치의 조건에서 0.25mm 정도의 함몰부위는 임상적으로 대부분의 Co-Cr clasps를 위하여 사용되고, 너무 깊은 함몰부위의 경에 clasp arm의 영구적인 변형을 초래할 수 있다고 하였다.

지대치의 조건에서 유지력의 조절은 지대치의 조건에 포함되는 여러 가지의 요소에 의해 영향을 미칠 수 있는데 그 능력은 한계가 있어 유지력의 조절이 어렵다고 할 수 있다. 따라서 지대치의 조건들은 반드시 함몰부위의 총계, 지대치의 만곡과 환경 그리고 마찰계수를 포함해야 하고 함몰부위는 유지를 위하여 효과적인 변수라 할 수 있을 것이다.

다른 한편으로 유지암의 탄력성은 clasp의 유지력을 쉽게 조절할 수 있지만, clasp의 탄성력은 clasp의 크기와 구성성분을 이루는 합금의 특성에 의해 영향을 미친다.

탄력성을 위해서는 clasp의 크기 또는 합금의 기계적 특성에서 탄력성의 결과를 획득해야 한다. Clasp의 탄력성은 clasp의 " stiffness

parameter"의 용어로 표현된다.

Morris et al.에 의하여 추천된 stiffness index는 stress relaxation testing동안 생성된 반서적인 탄성의 단위에 대해 요구되는 힘이다.

Johnson et al.은 반훤형 주조 clasp의 탄력성에 굴곡된 평판의 효과를 결정하기 위해 stiffness parameter를 사용하였다. 이 결과를 바탕으로 Bates는 stiffness와 clasp의 크기에 관한 탄력성의 이론으로부터 straight cantilever beam의 반사를 추정하기 위하여 공식을 얻었고, Nokubi et al.에 의해 개발된 방정식은 cross-sectional shape 전체에 걸쳐 clasp를 위해서만 적용되었는데 이를 추정하기 위해서는 적분과정이 요구된다.

적분과정은 복잡하여 임상적인 적용이 어렵기 때문에 임상적인 적용을 위하여 각 clasp의 stiffness로 표현할 수 있는 간단한 공식이 필요하다고 할 수 있다.

따라서 clasp의 유지력은 clasp arm의 탄력성과 지대치의 형태에 영향이 있다고 생각할 수 있으므로 clasp의 유지력에 대한 마찰계수는 이론적으로 추정해야 된다고 사료된다.

2. Clasp 유지력의 추정

Clasp의 유지력은 clasp arm의 탄력성과 지대치의 형태에 영향이 있는데 clasp의 유지력에 대한 마찰계수는 Sato 등에 의하여 연구된 바 있다.

Sato등은 Fig. 4와 같은 모델로부터 전양력(Ft)를 나타내는 식(1)을 유도하였다.

$$F_t = 2 \times F_d \times r \times (\cos\theta - \cos\theta_b) \times ((\sin\theta + \mu \times \cos\theta) / (\cos\theta - \mu \times \sin\theta) - \mu \times \cos\theta) \quad \text{----------(1)}$$

Fig. 4는 clasp arm이 θ각(수평거리 d. 수직거리 v)의 위치로 들어올렸을 때, clasp tip에 미치는 힘의 평형을 나타낸 것이다. 치아의 표면은 반경 r과 중심각 θ 인 arc에 의해 표현하였고, 수직거리의 깊이는 u와 h에 의해 각각 나타내었다. 여기서 N_a는 지대치로부터의 반동력이고, f_a는 지대치와 clasp arm의 표면 층의 상호작용으로부터 발생하는 마찰력이며, F_x는 clasp tip에 미치는 힘의 x 성분, F_y는 clasp tip에 미치는 힘의 y 성분이다.

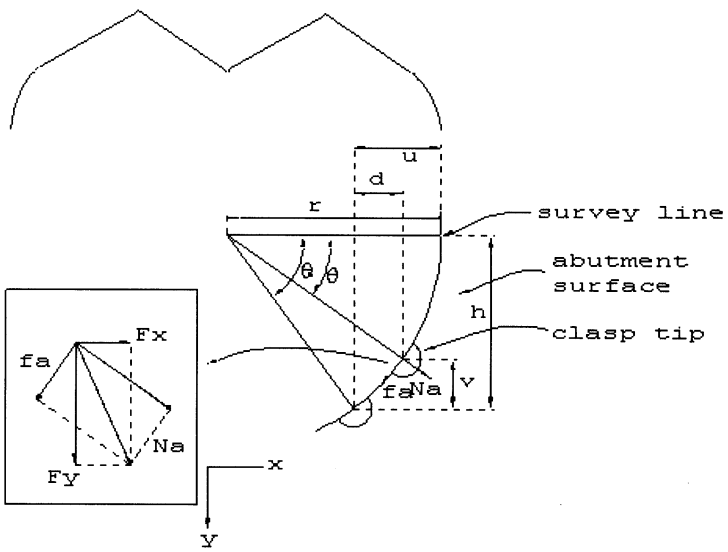

Fig 4. 지대치의 수직 Cross section

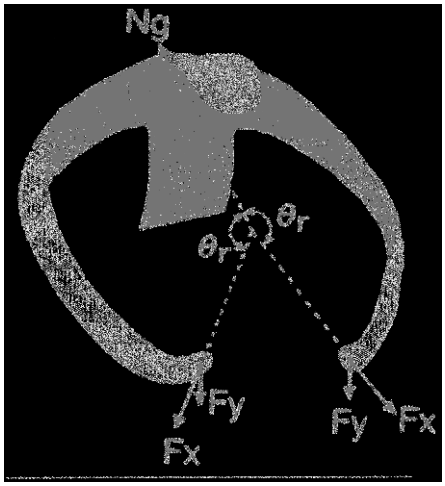

Fig 5. 두 가지 clasp tip과 유도 면의 각 위치에서 미치는 힘

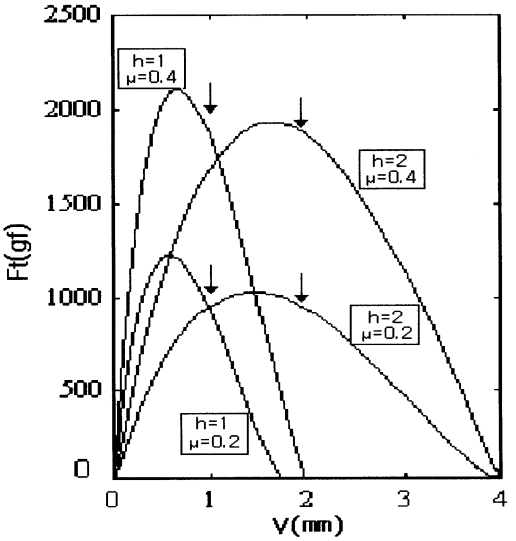

Fig 6. Clasp tip의 수직 변위에 따른 전양력(Ft)과 마찰계수(μ)와의 관계 Fd = 5000grf/mm; h = 1.2mm; u = 0.25mm, μ= 0.2, 0.4

F_d는 clasp tip의 단위 변위에 대한 힘으로서, 만약 clasp tip이 0.1mm의 변위를 일으키는데 500grf이 필요하다면, $F_d = 500/0.1 = 5000$grf/mm 49N/mm이다.

Fig. 5는 두 개의 clasp tip과 유도면의 각 위치에서 미치는 힘을 나타낸 것이다.

유도면에 미치는 반동력은 N_g, 유도면에서의 미치는 마찰력은 f_g, clasp tip에 미치는 힘의 x 성분은 F_x, clasp tip에 미치는 힘의 y 성분은 Fy, clasp arm의 반각은 θ로 표현하였다.

Fig. 6은 clasp tip의 수직 변위에 따른 F_t와 마찰계수와의 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 최대의 힘 즉 clasp의 유지력은 곡선의 꼭지점으로서 survey line 이전에 발생한다. 화살표(↓)는 clasp arm이 survey line상에 있을 때이다.

Fig. 7은 유지계수(C_r)의 u와 μ, h와의 관계를 나타낸 것으로서 식(1)에서 F_t는 F_d에 비례하므로 C_r를 정의하면 $C_r = F_t/F_d$ 이다.

Fig. 7(A)는 μ대 C_r의 도표로서 C_r는 u, h가 일정할 때 μ에 선형적으로 증가한다.

Fig. 7(B)는 h대 C_r의 도표로서 C_r는 u가 일정할 때 h에 반비례함을 보여주고 있다.

Fig. 7(C)는 u대 C_r의 도표로서 C_r는 r가 일정할 때 u에 비례함을 보여주고 있다.

Fig. 7(D)는 u대 C_r의 도표로서 C_r는 r가 일정할 때 u에 비례함을 보여주고 있다.

Fig. 7(C)를 자세히 관찰하면 μ= 0 근처에서 C_r는 u^2에 대하여 비례적이고, μ0.5 이었을 때 C_r은 u에 대하여 거의 비례적인 것을 고려하여 식(2)와 같은 모델을 결정하였다.

$$C_r = K_1 \mu u + K_2 u^2/h \quad \text{---------- (2)}$$

최소자승법에 의하여 상수 K_1과 K_2를 구하면 식(3)과 같은 유지력의 근사식을 얻을 수 있다.

$$F_r = F_d(3.0 \mu u + 1.5u^2/h) \quad \text{---------- (3)}$$

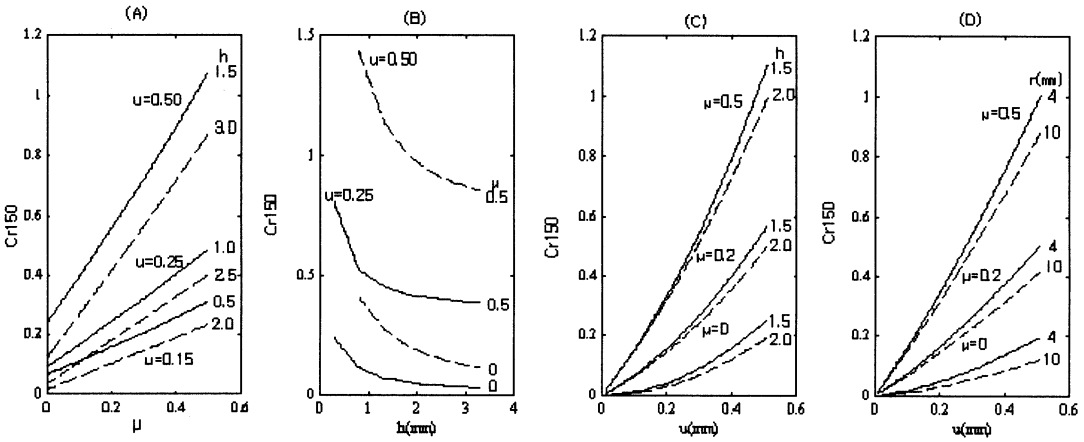

Fig 7. 유지계수(C_r)의 u와 μ, h와의 관계 C_{r150}, 유지계수($\theta_r = 150^\circ$); u, 함몰부위의 깊이 ; h, 함몰부위와 최대 풍융선 사이의 수직거리 ; μ 마찰계수 ; r, 반경

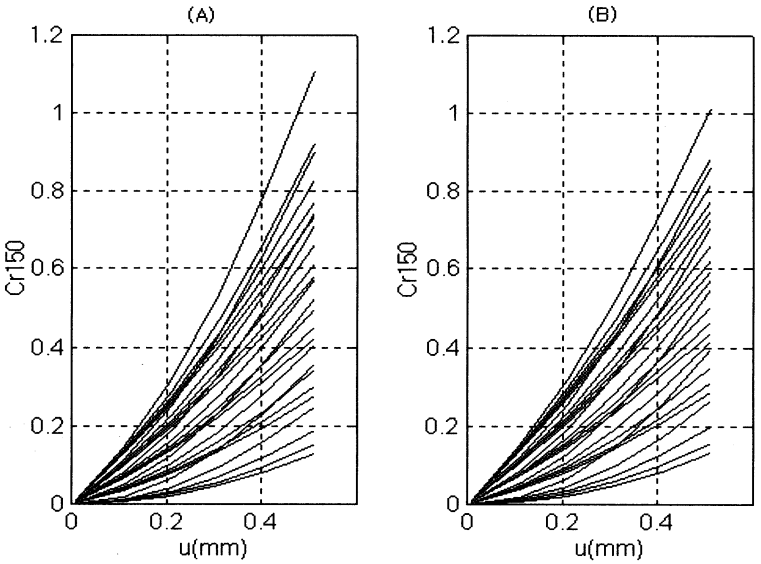

Fig 8. 식(1)에서 표현되는 그래프(A)와 식(3)에서 표현되는 그래프와의 비교(B)

Sato의 보고에 의하면 K_1은 3.4와 K_2는 1.3으로 나타났는데, 본 계산상에서 최소자승법 알고리즘을 이용하여 계산하여 본 바, K_1은 3.0과 K_2는 1.5로 나타났다. 이는 본 실험과 최소한의 오차가 있음을 알 수 있지만, 본 실험에서는 μ=5 가지 테이터와 h=5 가지 데이터에 대하여 u를 각각 6가지, 즉 150 데이터를 이용하여 구한 것으로 u의 의존성을 크게 취한 것이다. 따라서 어떤 매개변수에 의존성을 크게 두느냐에 따라 K_1과 K_2 값이 약간 달라질 수 있다.

Fig. 8은 식(3)의 적정성을 확인하기 위하여 식(1)에서 표현되는 그래프와 식(3)에서 표현되는 그래프와의 비교를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 μ h가 큰 경우에는 약간의 오차가 있으나, 거의 모든 부분에서 비슷하게 나타나 식(3)을 이용하여 clasp의 유지력을 추정할 수 있음을 알 수 있었다.

Ⅴ. 결 론

건조와 젖은 상태의 조건 아래, 자연치, 도재 및 주조된 지대치의 재료와 연마되었거나 sandblasted clasp의 재료사이에서 마찰계수를 측정한 결과와 원형 clasp의 유지력을 이론적으로 추정한 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건조와 젖은 상태에서 측정한 연마된 그룹과 sandblasted의 그룹에서 지대치의 재료와 clasp 재료의 마찰계수는 0.08~0.53 범위로 나타났다.
2. Non-metal 지대치의 재료들은 건조된 조건보다 젖은 조건에서 마찰계수가 높게 나타났다.
3. 지대치의 재료와 sandblasted clasp의 재료에서의 마찰계수는 연마된 clasp의 재료보다 높게 나타났다.
4. Clasp의 유지력은 μ와 u의 곱, u^2/h에 비례하는 두 항으로 표현할 수 있고, $F_r = F_d (3.0 \mu u + 1.5u^2/h)$에 의하여 추정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Applegate O. C., Essentials of removable partial denture prosthesis. 3rd ed., phil - ladelphia, W. B. Saunders, 185 (1966)
2. LaVere A. M., J. Prosthet. Dent., 2, 126~131 (1993)
3. Yuasa Y., Sato Y., Ohkawa S., Nagasawa T., Tsuru H., J. Dent. Res., 69, 1664~1668 (1990)
4. Norman R. L., J. Prosthet. Dent., 14, 45~51 (1964)
5. WARR J. A., J. Dent. Res., 38, 1066~1074 (1959)
6. WARR J. A., Phys. Med. Biol., 3 : 212~232 (1959)
7. WARR J. A., J. Prosthet. Dent., 11, 1105~1111 (1961)
8. Morris, H. F., ASGAR, K., J. Prosthet. Dent., 33 : 36~46 (1975)
9. Morris, H. F., ASGAR, K., TILLITSON, E., J. Prosthet. Dent., 46 : 133~141 (1981)
10. JOHNSON, D. L., STRATTON, R. J., DUNCANSON, M. G., J. Dent. Res., 62 : 833~836 (1983)
11. BATES, J. F., Br. Dent. J., 149, 171~174 (1980)
12. BATES, J. F., Br. Dent. J., 119 : 389~396 (1965)
13. NOKUBI, T., ONO, T., MORIMITSU, T., NAGASHIMA, T., OKUNO, Y., J. Osaka Univ. Dent. Sch., 27 : 175~187 (1987)
14. Henderson, D., McGivney G., Casteberry D., McCracken's partial removable prostho - dontics. 7th ed. St Louis, Mosby-yearBook, 183 (1985)
15. Avant, W. E., J. Prosthet. Dent., 25, 265~270 (1971)
16. Schneider, R. L., J. Prosthet. Dent., 58, 1946 (1987)
17. Sato Y., Abe Y., Yuasa Y., Akagawa Y., J. Prosthet. Dent., 78 : 22~27 (1975)