

DMT를 이용한 부산점토의 변형계수 추정

Correlation of Constrained Modulus for Busan Clay using DMT

홍성진¹⁾, Sung-Jin Hong, 조용순²⁾, Yong-Soon Cho, 정상진³⁾, Sang-Jin Jung, 이우진⁴⁾, Woojin Lee

¹⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ.

²⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ.

³⁾ 삼성물산 건설부문 북컨 2-단계 축조 현장 대리, Assistant manager, Busan New Port North Container Terminal Phase 2-1, Engineering & Construction, Samsung.

⁴⁾ 고려대학교 사회환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ.

SYNOPSIS : Because the flat dilatometer (DMT) is operated in appropriate strain level, it has been known as an adoptable in-situ tool to evaluate the compressibility of soils compare with other in-situ test tools, such as SPT and CPT. This study is concerned about prediction method of constrained modulus by DMT, and a series of DMT and consolidation tests are performed at Busan new-port, Yangsan and Noksan test sites. By comparing DMT results with lab tests, the suitability of constrained modulus correlation, which is suggested by Marchetti, is investigated in Busan clay and new correlation is suggested. In lab test result, the compression indices (C_c) of Busan clay are turned out to be 0.4~0.12, and the constrained moduli are found out 0.5MPa~3MPa and these are increase with depth. The predicted constrained moduli using Marchetti's correlation are turned out 0.5MPa~4MPa, and these are bigger than measured constrained moduli by lab tests. By analyzing lab test and DMT results, it is shown that the correlation coefficient ($R_M=M/E_D$) has a linear relationship with ($1/I_D$) in Busan.

Key words : Flat Dilatometer (DMT), Constrained Modulus, Consolidation Test, Compression Index

1. 서 론

지반의 횡방향구속 변형계수(M)는 연약지반에 건설되는 구조물의 침하산정에 중요한 물성치로 압밀시험이나 현장시험에 의해 산정된다. 실내시험을 이용하여 M 을 산정할 경우 비용이 많이 소요되고 시료의 교란영향이 발생할 수 있으며, SPT와 CPT 등의 현장시험의 경우 지반에 변형을 크게 발생시키므로, 횡방향구속 변형계수 산정에 적합하지 않다. 반면에, flat dilatometer (DMT)의 경우 현장시험이므로 빠르고 경제적이며, 중간 변형률에서 시험이 이루어지므로 다른 현장관입시험에 비하여 지반에 압축특성을 파악하는데 유용한 것으로 알려져 있다. 본 연구는 DMT를 이용한 부산 점토의 횡방향구속 변형계수 추정에 관한 것이다.

DMT로 횡방향구속 변형계수를 추정하는 대표적인 방법으로는 Marchetti (1980, 2001)가 제안한 방법이 있다. 본 연구에서는 Marchetti가 제안한 산정방법으로 추정한 횡방향구속 변형계수가 부산 점토

에 적합한지를 확인하고, 부산 점토에 보다 적합한 횡방향 구속 변형계수 산정방법을 제안하고자한다. 이를 위하여 부산신항 북컨테이너 부두와 녹산단지, 양산지역의 3개 시험 site에서 DMT 및 압밀시험을 실시하였다.

2. 시험 지역

부산지역 점토의 압축특성을 알기위하여 낙동강 주변 3개 지역에서 DMT 시험 및 시료 채취를 실시하였다. 시험은 부산신항 북 컨테이너 건설현장, 양산천 근처 주택단지 조성현장, 녹산 공업단지 조성현장 부지에 대하여 시험을 실시하였다. 그림 1은 세지역의 대략적인 층상 및 함수비 액/소성을 나타낸 그래프이며, 그림 2는 소성도표이다.

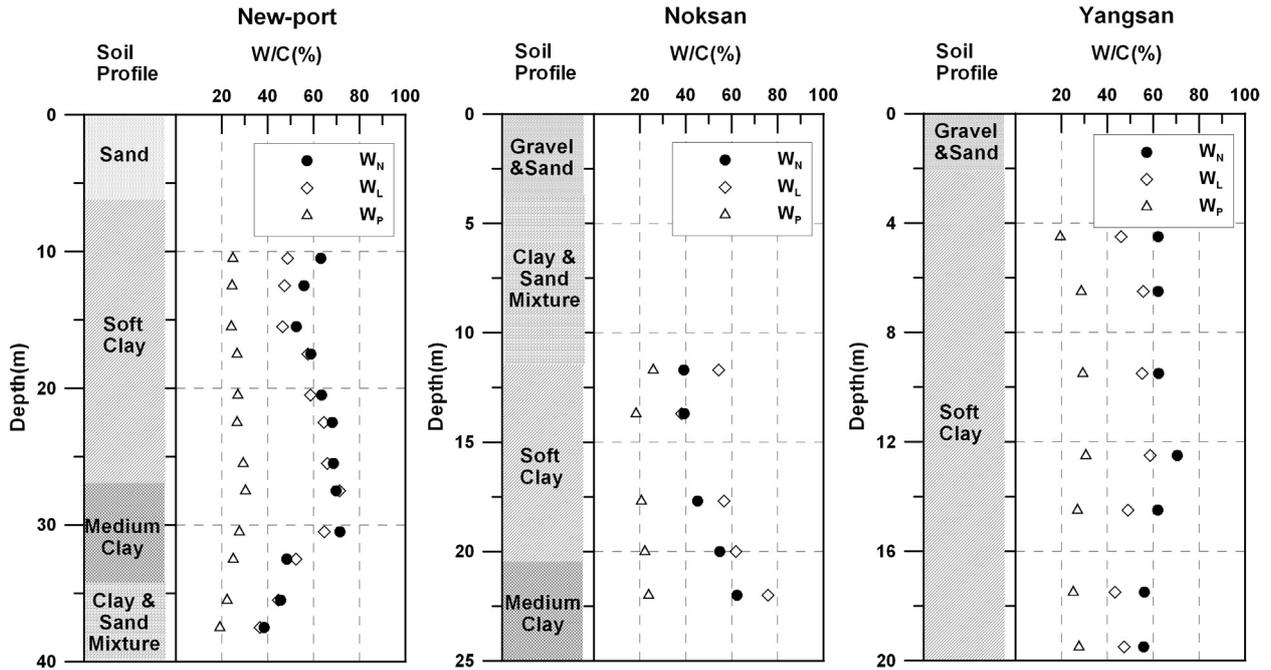


그림 1. 시험지반의 층상 및 액/소성

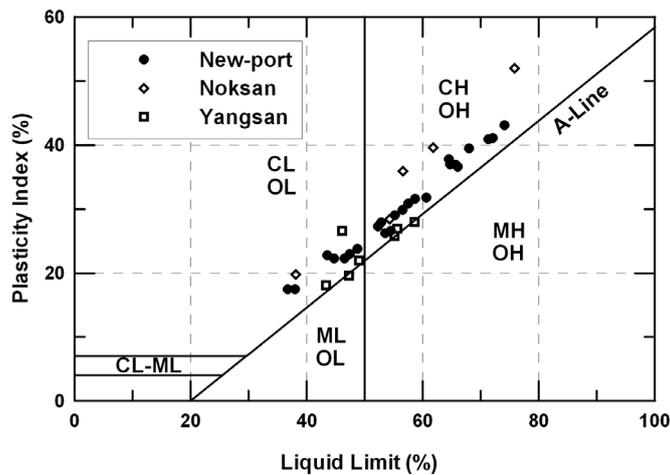


그림 2. 시험지반 소성도표

세 지역 모두 상부 매립층이 존재하며, 압밀시험 결과 산정한 OCR은 1.5 미만인 정규압밀된 점토였다. 함수비 및 액/소성의 경우, 부산신항은 심도 28m까지 증가하다 감소하며, 녹산 지역은 심도 22m까지 증가하고, 양산지역의 경우 13m까지 증가하다 감소하는 경향이 나타났다. 신항과 양산지역 모두 함수비 및 액/소성이 심도에 따라 증가하다 감소하는 것으로 나타났지만, 신항이 양산지역에 비해 낙동강 하구에 위치하였기 때문에 점토층이 더 두꺼운 것으로 판단된다. 그림 2를 보면 부산 지역 점토는 통일분류법상의 CH와 CL로 분류되며, 소성도표상의 A-line 위에 위치한다. 이러한 결과는 김상규 등(2006)의 연구결과와도 일치한다.

3. 시험결과

3.1 실내시험

부산 지역 점토의 압축특성을 파악하기 위하여 부산신항, 녹산, 양산 시험 부지에서 74mm piston sampler를 이용하여 시료를 채취한 뒤 oedo 및 CRS 압밀시험을 실시하였다. 압밀시험을 통해 횡방향 구속 변형계수를 산정하는 방법은 식 (1)과 같다. 그러나 압밀시험의 $e-\sigma'_v$ 그래프에서 횡방향 구속 변형계수를 찾을 경우 시료교란으로 인해 정확한 M 값의 산정이 어렵다. 그림 3은 일반적인 압밀시험에서 $e-\log\sigma'_v$ 그래프를 나타낸 것으로, 현장과 달리 실내시험에서는 시료교란으로 인해 동일한 응력조건에서 간극비가 감소하고, $e-\sigma'_v$ 그래프에서의 기울기가 작게 나타나게 된다. 이러한 효과로 인해 압밀시험 결과의 $e-\sigma'_v$ 그래프에서 얻은 횡방향 구속 변형계수는 실제 값보다 크게 나타나게 된다. 압밀시험을 이용하여 횡방향 구속 변형계수를 산정하는 다른 방법으로, 압축지수(C_c)를 이용하는 식 (2)와 같은 방법이 있다. Schmertmann (1955)이 제안한 방법을 이용하여 압축지수를 산정하면 시료교란효과를 고려한 값을 산정할 수 있다.

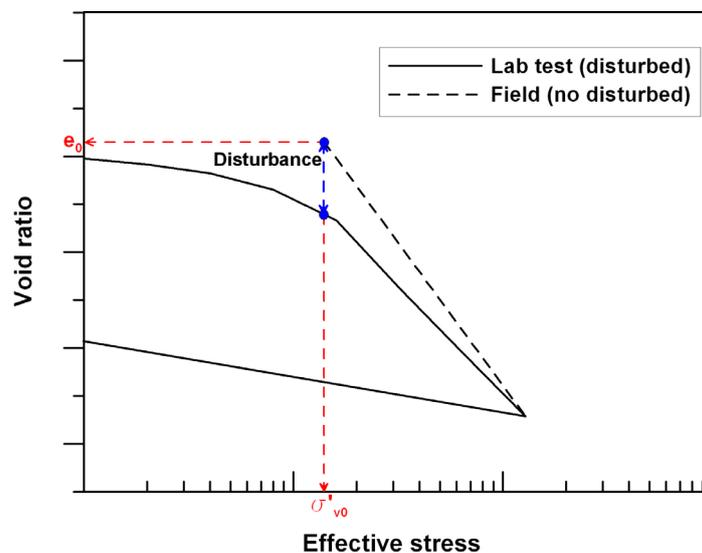


그림 3. $e-\log\sigma'_v$ 곡선

$$M = \frac{1}{m_v} = \frac{\Delta\sigma'_v}{\epsilon_v} = \frac{(1+e_0)\Delta\sigma'_v}{\Delta e} \quad (1)$$

$$M = \frac{2.3(1+e_0)\sigma'_v}{C_c} \quad (2)$$

그림 4는 압밀시험결과 중 $e-\sigma'_v$ 그래프와 압축지수를 이용하여 산정한 횡방향구속 변형계수를 비교한 것으로, 그래프로 산정한 값이 압축지수를 이용하여 산정한 값보다 최대 2배정도 크게 나타났다. 그래프로 산정한 횡방향구속 변형계수가 큰 이유는 시료교란에 의한 $e-\sigma'_v$ 기울기 감소이기 때문에, 본 연구에서는 압축지수를 이용하여 산정한 횡방향구속 변형계수를 현장시험과의 비교하였다.

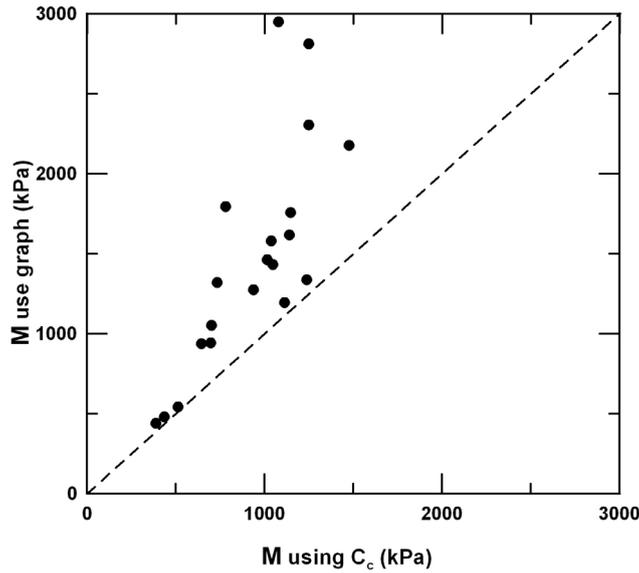


그림 4. 압밀시험으로 산정한 M값 비교

3.2 현장시험

3개 시험 부지의 점토지반에 대하여 DMT 시험을 실시하였다. 부산신항의 경우 심도 6m~32m까지 시험을 실시하였으며 녹산지역은 심도 10m~25m까지 양산지역은 심도 3m~20m까지 시험을 실시하였다. Marchetti (1980, 2001)는 DMT 시험으로부터 지반의 횡방향구속 변형계수를 추정하는 식 (3)을 제안하였으며, 그림 5는 DMT로 추정한 횡방향구속 변형계수(M_{DMT})와 압밀시험으로 산정한 값을 비교한 것이다.

$$M_{DMT} = R_M E_D \quad (3)$$

여기서 E_D 는 dilatometer modulus 이며, R_M 은 상관계수로 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } I_D \leq 0.6 : R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D \\
 & \text{if } I_D \geq 3.0 : R_M = 0.5 + 2 \log K_D \\
 & \text{if } 0.6 \leq I_D \leq 3.0 : \\
 & \quad R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D \\
 & \quad \text{with } R_{M,0} = 0.14 + 0.15(I_D - 0.6) \\
 & \text{if } K_D \geq 10 : R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D \\
 & \text{if } R_M \leq 0.85 : R_M = 0.85
 \end{aligned} \quad (4)$$

그림 5를 보면 세 지역 모두에서, 횡방향구속 변형계수는 식 (2)를 이용하는 방법이 가장 작게 나타났으며, DMT 시험결과를 이용한 Marchetti 추정방법이 가장 크게 나타났다. 압밀시험 결과의 그래프를 이용하는 방법이 압축지수를 이용하는 방법보다 DMT 추정결과와 유사하게 나타났다. 특히 심도가 커질수록 DMT 추정값과 압밀시험 측정값이 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, Marchetti의 제안식은 압

밀시험결과에 비해 횡방향구속 변형계수를 과대평가하는 것으로 나타났다.

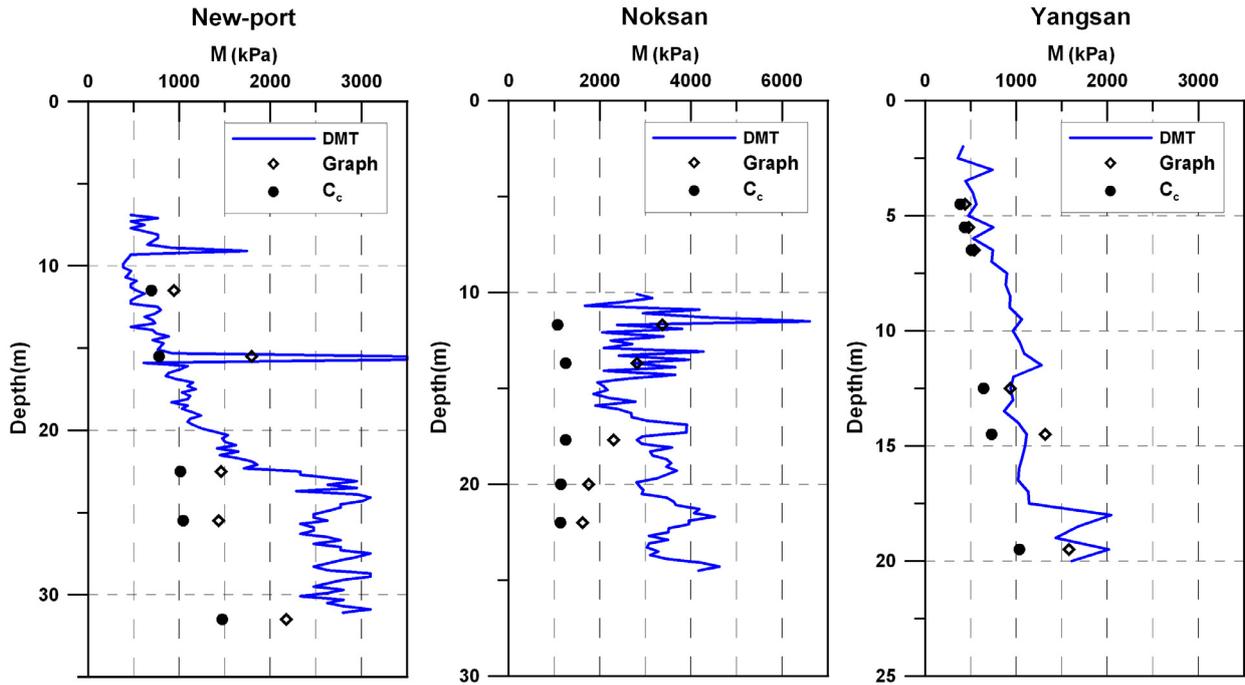


그림 5. 심도에 따른 횡방향구속 변형계수

4. 결과분석

본 연구에서는 DMT를 이용한 부산지역 점토의 적절한 압축성을 파악하기 위하여 압밀시험에서 식 (2)로 산정한 횡방향구속 변형계수와 동일한 위치의 DMT 시험 결과를 비교하였다. 재료의 특성이 DMT를 이용한 횡방향구속 변형계수 추정에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고자 식 (3)의 상관계수 R_M 과 DMT 재료지수(I_D)를 비교하여 보았다. 그림 6의 왼쪽 그래프를 보면 R_M 은 I_D 와 반비례관계를 나타냈다. 그림 6의 오른쪽 그래프는 R_M 과 $1/I_D$ 의 관계를 나타낸 것으로 선형적인 관계가 나타났다. 이를 이용하면 식 (5)와 같이 횡방향구속 변형계수를 DMT 시험결과로 나타낼 수 있다.

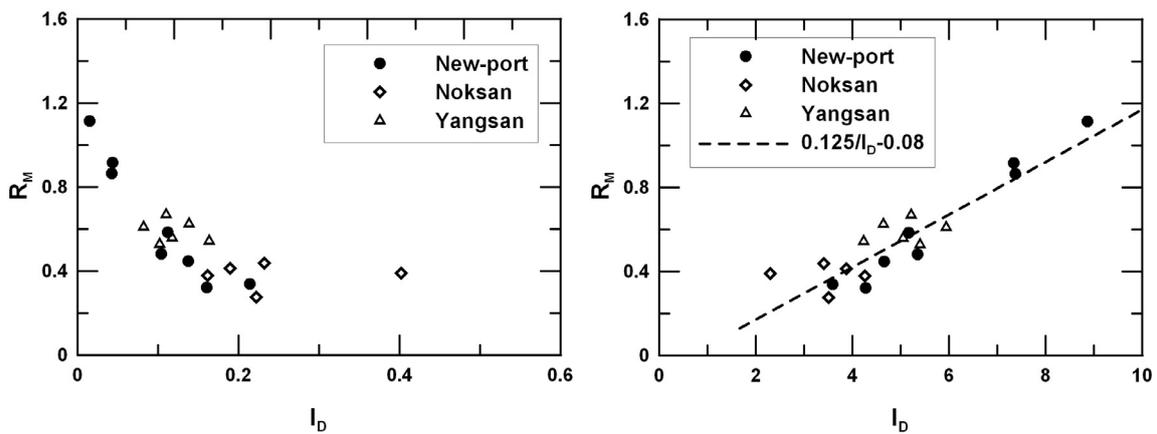


그림 6. R_M 과 I_D 의 관계

$$M = (0.125/I_D - 0.08)E_D \quad (5)$$

식 (5)는 DMT를 결과를 이용한 부산지역 점토의 횡방향구속 변형계수 추정식으로, 기존 방법에 비해 간단하며, I_D 를 이용하여 토질 특성을 고려할 수 있는 장점이 있다. 그림 7은 압밀시험을 통해 측정한 횡방향구속 변형계수와 식 (5)를 이용하여 DMT 시험결과로부터 추정된 값을 비교한 것이다. 측정치와 추정치의 차이는 대부분 30% 미만으로 나타났으며, 추정치와 측정치 오차의 평균은 15.9%로 나타났다.

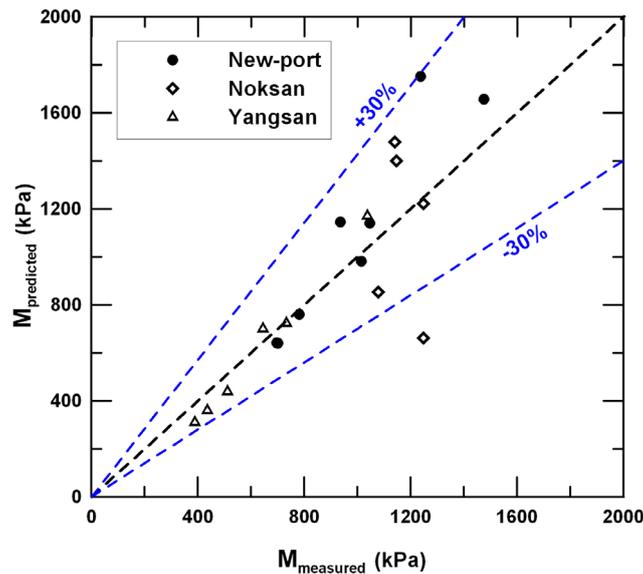


그림 7. 측정 및 추정 횡방향구속 변형계수 비교

5. 결론

본 연구는 DMT를 이용한 부산점토의 횡방향구속 변형계수 추정법에 관한 것으로, 이를 위해 부산신항, 녹산단지, 양산지역 3개 시험 부지에 대하여 DMT 시험 및 압밀시험을 실시하였다. Marchetti가 제안한 DMT 횡방향구속 변형계수와 압밀시험결과를 비교하여 본 결과, DMT로 추정된 횡방향구속 변형계수가 최대 4배까지 크게 나타났다. 본 연구에서는 DMT 시험과 압밀시험을 분석한 결과 상관계수 R_M 은 I_D 와 일정한 경향을 나타내는 것으로 파악되었으며, 이를 이용하여 부산점토에 적합한 DMT 횡방향구속 변형계수의 추정법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 추정법은 기존 제안식에 비하여 간단하며, 부산점토의 횡방향구속 변형계수를 추정하는데 적합하였다. 그러나 본 연구를 실시한 지반은 OCR이 1.5 미만, I_D 가 0.6 미만인 정규압밀 점토지반으로 한정되어 있어, 앞으로 보다 다양한 지반에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김상규, 김윤태 (2006), “낙동강 하구 델타 퇴적토의 특성과 기초설계와의 관련”, 낙동강하구 연약 지반에서의 중·저층 빌딩의 최적 기초형식에 관한 Workshop 논문집, ATC-7, Seoul, pp.19~101.
2. Marchetti, S. (1980), "In Situ Tests by Flat Dilatometer", *J. Geotechnical Engineering*, Vol. 106, No.3, pp.299~321.
3. Marchetti, S., Monaco P., Totani G. and Calabrese M. (2001), "The Flat Dilatometer Test in Soil Investigations", A Report by the ISSMGE Committee TC 16. Proc. International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Bali, pp.1~41.
4. Schmertmann, J.H., (1955), "The Undisturbed consolidation behavior of clay", *America Soc. Civil Eng.*, Vol. 120, pp.1201~1227.