

Handtool의 인간공학적 설계를 위한 체계적인 접근방법

유 재 우

강남대학교 산업공학과

요약

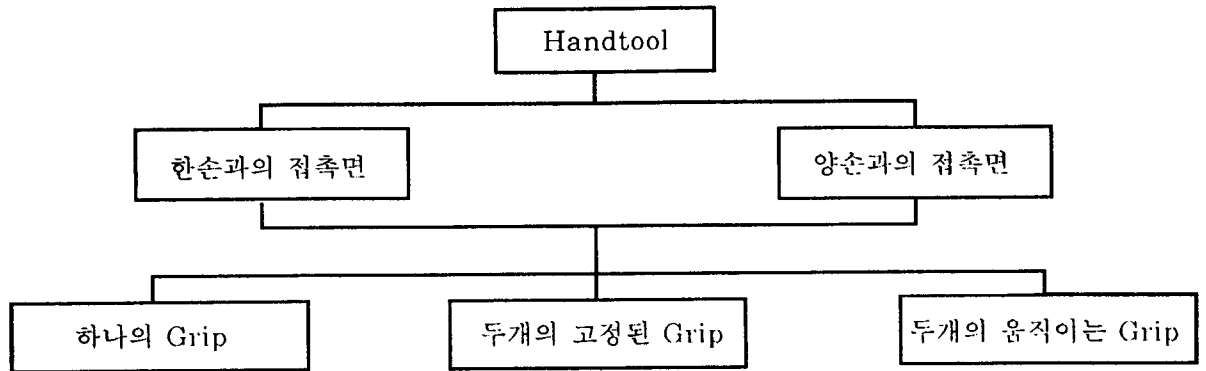
인간중심의 작업설계는 오래전 부터 공학의 중요한 과제로 여겨왔다. 이에 인간은 여러가지 다양한 형태의 도구를 만들고 개선해 왔으며, 이 중 Handtool은 중요한 도구 중의 하나이다. 인간과 도구가 그 사용에 있어 최적의 조화를 이루어갈 때 위험요소는 사라지게 되고 작업의 부하는 줄어들며, 작업시간의 단축과 함께 작업의 정확도는 나아지게 된다. 기술의 발달은 갈수록 복잡하고 위력적인 도구를 발명해 내고 있지만 아직도 우리의 주변에는 이의 설계에 있어 인간공학적인 요소가 충분히 고려되고 있다고는 할 수 없다. 실제로 최근에 와서는 많은 수 공구들이 동력화 되고, 그 성능은 갈수록 나아져 가고 있는 반면, 이의 사용으로 인한 사고라든지, CTS(Carpal Tunnel Syndrom) 과 같은 누적외상병은 별로 나아짐이 없이 경우에 따라서는 오히려 심해져가고 있다. 따라서 도구의 인간공학적인 디자인의 목적은 위험요소의 제거, 작업부하의 절감 그리고 작업능력의 향상에 있다고 할 것이다. 기존의 연구중 개별적인 Handtool의 인간공학적인 디자인의 예는 이미 많이 연구가 되어 있다. 그러나 이러한 연구들의 사례는 일관된 시스템적인 접근방식을 갖지 못하여 본 연구에서는 인간공학적인 측면에서 Handtool의 설계를 위해 고려되어야 할 요소와 함께 그 체계적인 접근방식을 제시한다.

I. 서론

Handtool은 “손에 의해 작동되거나 그 기능이 발휘되도록 손과의 접촉부위가 부착되어 공간상에서 자유로이 이동이 가능한 도구” 를 총칭한다. 여기서 “손과의 접촉부위” 란 도구 그자체가 될 수도 있고 몸체에 부착된 손잡이(Grip)이 될 수도 있다. 따라서 일반적으로 Handtool은 작업면의 부분과 손과의 접촉면의 부분으로 나누어 볼수 있는데, 인간공학적인 의미는 손과의 접촉면에 많은 비중을 두게되며, 본연구에서도 Handtool의 Grip의 디자인에 그 초점을 두어 다루었다.

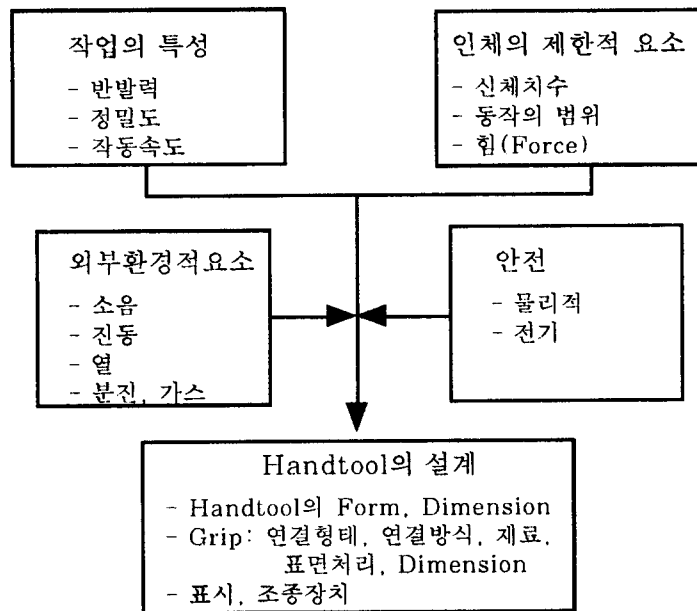
Handtool은 그 Grip형태에 따라 다음 그림 1과 같이 분류된다. 그림에서 오른쪽으로 갈수록 인간의 Hand-Arm-System의 특성상 동작범위의 제한과 양손의 기능과 힘의 분배등 고려되어야할 요소가 많아짐으로 그 Design에 있어 더 많은 인간공학적 요구조건을 갖게된다. 본연구에서는 한손에 의해 작동되는 하나의 Grip을 갖는 Handtool을 그 대상으로한다.

그림 1: Handtool의 Grip의 형태에 따른 분류



Handtool의 설계에 있어 고려되어야 할 요소로는 다음 그림 2에서 보듯이 수행해야 할 작업의 특성, 인체의 제한요소, 인체에 미치는 외부환경적 요소 그리고 작업과 관련한 안전이다. 이러한 요소들을 고려하여 Handtool의 Form, Dimension, Grip 그리고 스위치와 같은 조종장치와 표시장치를 설계하게 된다.

그림 2. Handtool 설계의 인간공학적 요소

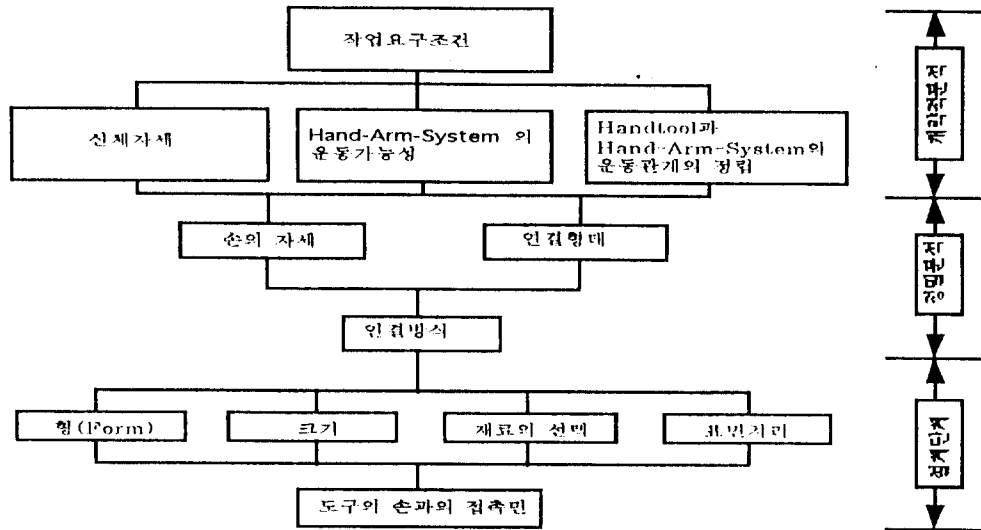


여기서 반발력이란 사용중 받게되는 도구의 중량에 의한 것이나 전동공구에서와 같이 작업대상물 사이에서 생기는 반발력 그리고 복원력을 포함하여 손에 전달하여야 할 힘을 총칭한다. 정밀도는 사용목적에서 요구되는 작업의 정밀성 그리고 작동속도는 손의 동작속도에 관련한 것이다.

II. Handtool의 인간공학적 설계절차

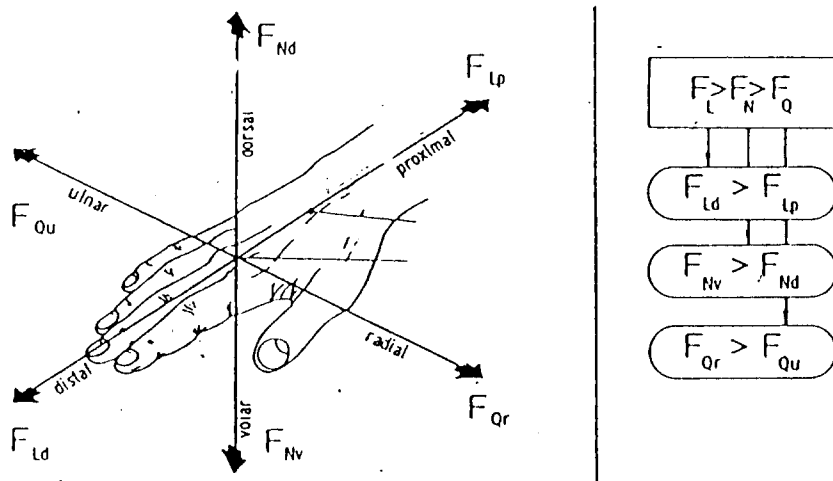
인간이 사용하는 도구에는 여러 형태의 다양한 종류가 있지만 Bullinger에 의해 제시된 일반적인 인간공학적 설계절차를 이에 적용시켜보면 다음 그림 3과 같다.

그림 3. Handtool의 인간공학적 설계절차



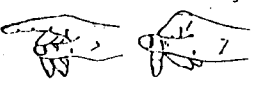
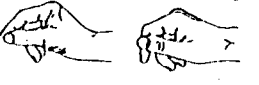


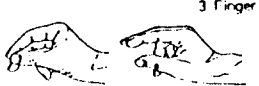


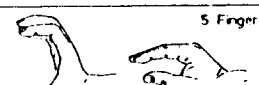

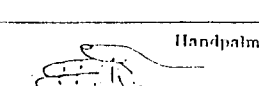

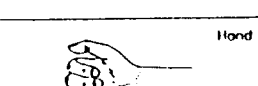
개략적인 분석은 요구되는 작업의 특성과 사용조건하에서의 인간의 신체적인 제한을 고려하여 동작의 방향과 크기를 결정하는 단계이다. 손을 통하여 전달될수 있는 힘의 상대적 크기는 다음 그림 4에 나타나 있다. 이에 따라 만일 작업의 특성상 큰힘을 전달해야할 경우, 가능하면 힘의 전달방향이 아래팔의 축과 같은 방향으로 놓여있도록 하는 것이 가장 신체적 부담을 줄일수 있는 방법이다.

그림 4. 손을 통하여 전달할수 있는 힘의 크기의 상대적 비교



정밀분석단계에서는 먼저 손의 자세가 해부학적인 측면에서 가능한 중립적인 자세를 유지하도록 되어 있는지를 살펴봐야 한다. 이미 많은 연구에서 손의 자세에 따른 신체적 부담이나 전달 가능한 힘의 크기는 밝혀진바 있음으로 이를 참고로 사용중의 손의 자세와 그변화를 자세히 분석하여 손목 관절과 팔꿈치의 각도가 최대운동각도의 1/2의 범위에서 이루어지도록 조절한다. 연결형태에 대해서는 "접촉", "집기" 그리고 "쥐기"로 나누어 볼수 있는데, 이에 대한 예는 그림 5에 잘 나타나 있다.

그림 5. 연결형태의 분류와 예

집촉	집기	쥐기
 1 Finger	 2 Finger	 2 Finger
 Thumb	 3 Finger	 3 Finger
 Hand	 5 Finger	 4 Finger
 Handpalm	 Hand	 Hand

이것을 작업요구조건에 맞추어 적용시키면 다음 그림 6과 같이 된다.

그림 6. 작업요구조건에 따른 쥐는 형태의 적합도

연결형태 \ 작업요구조건	반발력	정밀도	작동속도
집촉	하	중	상
집기	중	상	중
쥐기	상	하	하

연결방식은 “마찰연결” 과 “형상연결” 로 나누어 지며 다음 그림 7에 표현되어 있다. 작업요구조건에 따른 그 적합도를 나타낸것이 그림 8이다.

그림 7. Grip과 손과의 연결방식

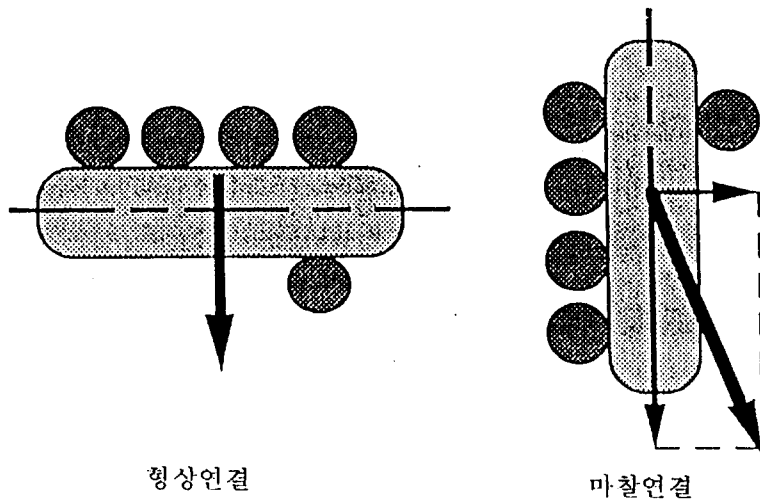
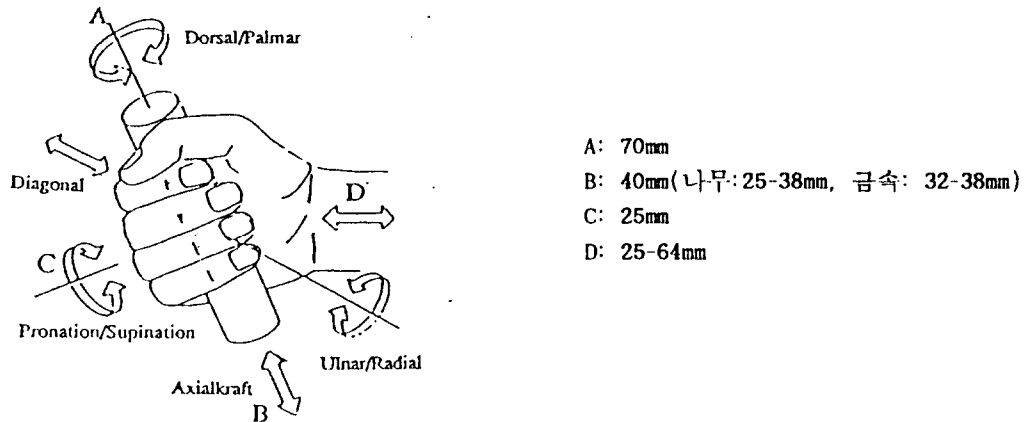


그림 8. 작업요구조건에 따른 연결방식의 적합도

인결방식 \ 작업요구조건	반발력	정밀도	작동속도
마찰인결	중	상	상
형상인결	상	중	하

이렇게하여 연결형태와 연결방식이 결정되면 Grip의 설계단계에 들어가는데, 먼저 Grip의 형태는 손의 해부학적인 형태에 맞추는 것이 이상적이거나 개인에 따른 손의 Dimension의 차이로 일반적으로는 실린더 형태나 타원의 단면을 갖는 것이 적합하다. 여기서 중점을 두어야 할 것으로는 Grip과 손의 접촉면을 가능한 많이 하면서 국부적인 피부의 압박을 피하도록 모난 부분이 없도록 해야한다. Grip의 크기는 사용목적과 힘의 전달방향에 따라 달리하여 주어야 하며 이에 대하여는 많은 실험이 이루어져 발표되어 있다. 예를들어 가장 보편적인 실린더 형태의 Grip의 힘의 전달방향에 대한 적합한 크기가 다음 그림 9에 나와있다.

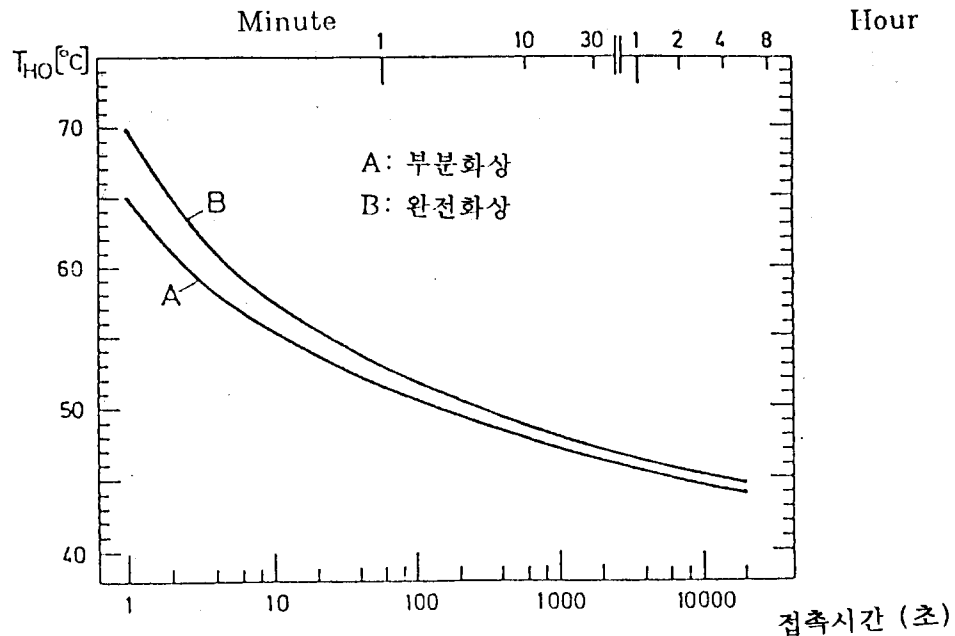
그림 9. 힘의 전달방향에 따른 적합한 실린더형 Grip의 직경



Grip의 재료는 인간공학적인 측면에서 주로 열이나 진동의 전달의 전달과 관련하여 의미를 갖는다. 피부의 화상의 정도는 접촉부위의 재료와 접촉시간의 두 변수에 관계를 갖고있다. 인간의 피부는 부위에 따라 차이가 있지만 손과 같은 경우 대개 체온보다 7도 정도 높은 43-44도 정도에서 통증을 느끼게되며 접촉시간과의 관계는 그림 10에 나와있다. 따라서 많은 나라에서는 전열공구와 같은 경우 규격으로 Grip의 재료에 따른 허용온도를 명시하고 있다. 열전도율이 높은 금속류에 비하여 나무나 고무와 같은 재질은 상대적으로 높은 온도에도 화상의 위험이 적으므로 정해진 사용시간에 적합한 재료를 선정하는 것이 중요하다.

Grip의 표면처리는 피부에 대한 국부적인 압박감과 미끄러짐의 방지를 통한 안전의 문제와 직접적인 관계를 가진다. 특히 고성능의 전동공구의 경우 작동중 이를 놓침으로 인하여 치명적인 상처를 입게되므로 Grip의 표면처리는 중요한 의미를 가진다. 이에 대한 연구는 실험적인 방법을 통하여 다음으로 요약되어 있다.

그림 10. 화상을 입게되는 온도와 접촉시간의 한계점



- 보통의 사용조건(사용중 보통의 힘의 전달이 요구될때)에서는 표면에 Profil이 있는 것이 맨질한 표면보다 좋다.
- 힘의 전달이 클 경우 마찰력의 증가로 피부의 손상을 가져오기 쉬우므로 3mm 이상의 Profil 간격은 피하도록한다.
- Profil은 힘의 전달방향과 직각의 방향으로 배열한다.
- 손가락만으로 접촉하는 Grip은 가능한 Profil을 만들지 아니한다.
- 고무와 같이 부드러운 재질은 가는 Profil을 갖는 것이 좋다.
- Profil은 최소의 용이성을 생각하여 만들도록 한다.

III. 측정방법과 Design의 예

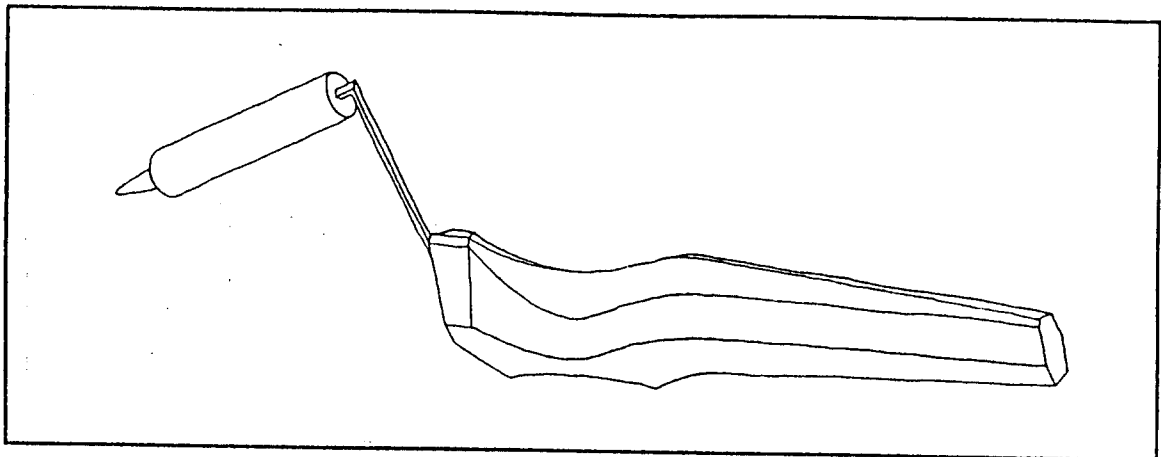
Handtool의 인간공학적 설계를 위한 측정방법은 먼저 Grip의 Dimension을 사용자의 손에 맞도록 하기위한 길이, 직경, 두께 등의 측정이 필요하다. 손과의 접촉면적및 국부적인 피부압박을 측정하기 위해서는 Computer Scanner와 Thermography를 이용하는 방법이 있다. Scanner를 이용하는 방법은 Grip에 검정을 입혀 사용한 다음 손바닥을 사진촬영하여 이를 Scanner를 통하여 접촉면적과 압박부위를 분석해내는 것이다. 적외선 사진을 이용하여 손의 사용전후의 온도변화를 비교하여 이를 분석하는 것이 Thermography에 의한 방법으로 이는 Vibration에 의한 손의 부하를 측정하는 데도 사용된다. 행동분석기는 관절의 동적인 움직임을 분석하는데 활용하며 그 측정속도가 50Hz이상 도달할 수 있어 웬만큼 빠른 동작도 측정 가능하다. 이를 통하여는 손과 팔의 속도, 가속도, 각 관절의 각도변화 등을 얻을수 있으며 Grip의 Design에 있어 중요한 정보를 얻을수 있다. 이외에도 EMG와 힘측정기(Force Measurement)등도 Handtool의 설계에 활용해 사용할수 있다.

이상 서술한 측정방법과 이론을 바탕으로 납땜인두를 그 대상으로 현재 사용되고 있는 제품들의 문제점을 분석하고 그에 대한 해결방안을 제시한다. 여기서 선정된 납땜인두는 몇가지 형태중 주로 전선이나 전자제품의 납땜에 사용되는 소형(중량 500g 이하)에 해당되며 1 KW까지 성능을 가진

40개의 제품을 실험하였다.

먼저 제기된 문제점은 열에 의한 화상의 위험성으로 Grip의 온도를 측정해본 결과, 거의 대부분의 제품이 장시간(30분 이상)사용시 허용온도 이상의 고온에 도달함이 밝혀졌다. 이는 Thermography의 분석에 의해 사용시 평면과 이루는 각도에 비례함을 알수가 있는데, 보편적인 사용조건인 수평면과 60도 정도에서는 30-50분에 정점에 도달하였다. 작업요구조건은 작은 반발력(작은 힘의 전달)과 높은 정밀도 그리고 빠른 작동속도(민첩성)을 요구하는 것으로 3 손가락에 의한 집기, 마찰 연결이 적합한 것으로 분석되었다. 행동분석기에 의한 동적분석에는 수평면 방향의 납땜을 전형적인 작업으로 하여 손목과 팔의 관절의 각도를 측정한 결과 장시간의 높은 Ulnar Deviation과 Dorsiflexion이 관측되었다. 이외에도 연결된 전선의 반발에 의한 회전 모멘트가 손가락의 힘으로 지탱하기에는 과중한 것으로 측정되어 II 05 SRF와 같은 유연성을 가진 재질의 전선을 사용하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 이러한 점을 고려하여 제시된 Design의 예가 그림 11에 나와 있다.

그림 11. 납땜인두의 Design의 예



IV. 결론

본연구는 수도구(Handtool)의 Design에 있어 인간공학적 요소들을 고려하여 사용자에게 편리함과 안전함을 높일수 있는 체계적 접근방식을 제시하였다. 인간의 손은 가장 다양한 기능과 신속하고 정확한 동작을 할수있는 부위로 가장 많은 도구들이 손으로 다루어지도록 만들어지고 있다. 특히 최근에는 기술의 발달과 함께 도구의 종류도 다양해지고 성능도 놀랄만큼 향상된 제품들이 나오고 있으나 그 설계, 제작단계에서 인간공학적인 측면이 충분히 고려되었다고 할수는 없다. 인간이 사용하는 도구는 언제나 사용자와 조화를 이루어 적합한 사용조건을 제공해줄 때 그 작업의 성과와 안전을 향상시킬수 있다. 따라서 모든 도구의 설계에는 기술적인 면만 아니라 인간공학적인 측면에서의 요구조건도 충족될수 있도록 하여야 한다.

앞으로의 연구방향은 따라서 여기에서 다루어진 한손에 의해서 작동되는 하나의 Grip을 갖는 Handtool을 확장하여 양손의 Coordination을 고려한 도구들, 그리고 왼손잡이를 위한 도구와 같이 특수한 분야에 까지 넓혀나가는 것이 필요하다.

참고문헌

1. Alexander, D. C.: The practice and management of industrial ergonomics, Englewood Cliffs 1986
2. An, K. N., Askew, L. J., Chao, E. Y.: Biomechanics and functional assesment of upper extremities, Trends in Ergonomics, 1986, pp. 573 - 580
3. Bullinger, H. J.: Gestaltungssystematik fuer Arbeitsmittel, Der Bundesminister fuer Arbeit und Sozial Ordnung, Bonn 1979
4. Bullinger, H. J., Solf, J.J.: Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung I, Bundesanstalt fuer Arbeitsschutz und Unfall forschung, Dortmund 1979
5. Bullinger, H. J., Solf, J. J.: Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung II, Bundesanstalt fuer Arbeitsschutz und Unfall forschung, Dortmund 1979
6. Christ, E.: Schwingungsbelastung messen an Arbeitsplaetzen mit vibrierenden Geraeten, Maschinenmarkt, 88(1982)14, pp. 229 - 232
7. Cochran, D. J., Riley, M. W.: An evaluation of handle shapes and size, Proceeding of the Human Factors Society - 26th Annual Meeting - 1982, pp. 408 - 412
8. Drury, C. G.: Handles for manual materials handling, Applied Ergonomics, 11 (1980)3, pp. 35 - 42
9. Drury, C. G.: The role of hand in manual material hand ling, Ergonomics, 28 (1985)1, pp. 213 - 227
10. Dupuis, H.: Chronische periphere Beeintraechtigungen durch Hand-Arm-Schwingun-gen, Berufsgenossenschaft, (1986)7, pp. 374 - 377
11. Erfurth, M.: Grundlagen und Anwendungen der Ther mographie in der Technik, messen + pruefen / automatik, (1978)4, pp. 162 - 188
12. Feggeler, A., Yoo, J. W., Hornung, V.: Ergonomische Gestaltung von Handge-fuehrten elektromotorischen Arbeitsmitteln, Bundesanstalt fuer Arbeitsschutz, Dortmund 1992
13. Fraser, T. M.:Ergonomic principles in the design of hand tool, Geneva 1980
14. Freivalds, A.: The ergonomics of tools, International Review of Ergonomics, 1 (1987), pp. 43 - 75
15. Heeg, F.-J., Kleine, G., Bahsier, G.: Ergonomische Gestaltung Handgefuehrter Elektrowaermewerkzeuge, Bundesanstalt fuer Arbeitsschutz, Dortmund 1989
16. Hoffmann, B.: Arbeitsschutz und Unfallstatistik 1989, Hauptverband der gewerb-lichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 1991
17. Holzhausen, K.-P.: Beitrag zur ergonomischen Arbeitsplatz analyse durch rechner-gestuetzte Bewegungs studien , Duesseldorf 1985
18. Johannsen, G.: Manuelle Regelung in Mensch-Maschine-System, Habilitations-schrift, RWTH Aachen 1980
19. Koehnlein, E.: Eingriff bei Handverletzungen, Muechen 1981
20. Konz, S.: Design of handtools , Proceeding of the Annual Meeting of the Human

- Factors Society, 18(1974), pp. 292 - 300
21. Mital, A., Sanghavi, N., Houston, T.: A study of factors defining the " operator-hand tool system " at the work place, International Journal of Production Research 23(1985)2, pp. 297 - 314
 22. Otto, P., Schlegel, K.-F.: Funktionelle Anatomie der Gelenke, Stuttgart 1980
 23. Petrofsky, J. S., Williams, C., Kamen, G., Lind, A. R.: The effect of handgrip span on isometric exercise performance, Ergonomics, 23(1980)12, pp. 1129 - 1135
 24. Pheasant, S.T., O'Neill, D: Performance in gripping and turning - A studies in hand/handle effectiveness, Applied Ergonomics, 6(1976)4, pp. 205 - 208
 25. Radwin, R. G., Van Bergeijk, E., Armstrong, T. J.: Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction force, Ergonomics, 32(1989)6, pp. 655 - 673
 26. Rohmert, W., Samuelson, B., Helbig, R., Wos, H.: Untersuchungen zur maximalen Ausdauer und Erholungszeit bei statischer Muskularbeit und unterschiedlichen Koerperhaltungen, Zeitschrift fuer Arbeitswissenschaft, 42(1988)2, pp. 113 - 115
 27. Scheller, W. L.: The effect of handle shape on grip fatigue in manual lifting, Proceeding of the Human Factors Society, 27(1983), pp. 207 - 209
 28. Schultz, M.: Ergonomie bei handgefuehrten Elektrowerkzeugen, Schlussbericht IVSS, Wien 1989, pp. 50 - 53
 29. Schwarzlose, H.: Beanspruchung durch Hand-Arm-Vibration bei niedriger Umgebungstemperatur, Zeitschrift fuer Arbeitswissenschaft, 40(1986)1, pp. 19 - 22
 30. Siekmann, H.: Bestimmung maxumal tolerierbarer Tem peraturen bei der Beruehrung heissen Oberflaeche, Berufsgenossenschaft, (1983)10, pp. 525 - 530
 31. Siekmann, H.: Empfohlene Maximaltemperaturen Beruehrbarer Oberflaechen, Berufsgenossenschaft, (1986)8, pp. 436 - 439
 32. Terrell, R., Purswell, J. L.: The influence of forearm and wrist orientation on static grip strength as a design criterion for hand tools, Proceeding of the Annual Meeting of the Human Factors Society, 20(1976), pp. 28 - 32
 33. Tichauer, E. R., Gage, H.: Ergonomic principles basic to hand tool design, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 38(1977)11, pp. 622 - 634
 34. Tsotsis, G.: Entwicklung eines biomechanischen Modells des Hand-Arm-Systems Berlin 1987
 35. Din 33401: Stellteile (Begriff, Eignung, Gestaltungshinweise)
 36. Din 33402 Teil 2: Koerpermasse des Menschen (Werte)
 37. Din 33411 Teil 1: Koerperkraefte des Menschen (Begriffe, Zusammenhaenge, Bestimmungsgroessn)
 38. Din 33411 Teil 4: Koerperkraefte des Menschen (Maximale statische Aktionskraefte)
 39. Din 43 602: Betaetigungssinn und Anordnung von Bedienteilen
 40. Din VDE 0740 Teil 1000: Handgefuehrte Elektrowerkzeuge (Begriffe)
 41. Din VDE 0700 teil 1: Sicherheit elektrischer Geraete fuer den Hausgebrauch und aehnliche Zwecke